ING. H. W. FRICKE

DIGITALE MEETTECHNIEK

POPULAIRE INLEIDING

kader REEKS

KLUWER - DEVENTER

Gescand en gerestaureerd door Jos Verstraten - 2024

DIGITALE MEETTECHNIEK

DIGITALE MEETTECHNIEK

POPULAIRE INLEIDING

Ing. H. W. FRICKE

kader REEKS

KLUWER - DEVENTER

Dit boek wordt ook uitgegeven in het Duits.
Vertaald uit het Duits door J. F. Wijnen, Eindhoven, Nederland.
Het bevat 168 pagina's, 115 figuren en 18 foto's op kunstdrukpapier.

U.D.C. nr. 621.382.3: 621.374.3

Duitse uitgave:
© N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Eindhoven, Nederland, 1965

Nederlandse uitgave:
© N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Eindhoven, Nederland, 1970.

Nadruk, ook gedeeltelijk, verboden.

PHILIPS

Merken van N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken

ISBN 90 201 054 18

Geen garantie wordt gegeven, dat de in dit boek vervatte informatie vrij loopt van octrooirechten; door deze publicatie wordt geen enkele licentie onder eventueel bestaande octrooien verleend.

VOORBERICHT

Dit boek is een inleiding in het interessante en actuele gebied van de digitale systemen. Digitale systemen hebben een geheel nieuwe meettechniek doen ontstaan, bovendien zijn zij de basis voor de meeste automatiseringsprocessen, van telecommunicatieprojecten, enz.

Het thema wordt populair-wetenschappelijk behandeld, speciale kennis op het gebied van elektronica en informatieverwerking of van wiskunde is niet vereist. De hoofdstukken behandelen als het ware afzonderlijke onderwerpen, zodat ze ook los van de overige inhoud kunnen worden gelezen. In het aanhangsel zijn, om een snel naslaan mogelijk te maken, de voornaamste benamingen en begrippen in alfabetische volgorde in het kort verklaard. Deze komen voor een groot gedeelte overeen met de aanbevelingen van de Duitse Normalisatiecommissie. De auteur heeft getracht – voorzover dit in het kader van dit boek mogelijk is – door de beschrijving van afzonderlijke apparaten en volledige installaties de stof te verduidelijken en zoveel mogelijk aan de praktijk aan te passen.

De auteur.

INHOUDSOPGAVE

Voorbericht

1. INLEIDING 1
2. DE BELANGRIJKSTE FUNCTIE-EENHEDEN VAN ELEKTRONISCHE APPARATUUR 5
3. ANALOGE EN DIGITALE MEETTECHNIEK 15
4. TALSTELSELS 22
5. DIGITALE TELLERS 29
6. CODERING 39
7. ANALOOG-DIGITAAL-OMZETTERS 53
8. LOGISCHE SCHAKELINGEN 62
9. CODE-OMZETTERS 78
10. DIGITALE INFORMATIEGEHEUGENS 84
11. DE DIGITALE TELLER PW 4230 91
    Enkele technische gegevens 94
12. DIGITALE METING VAN HET TOERENTAL EN DE OMTREKSNELHEID 95
13. DE ANALOOG-DIGITAAL-OMZETTER PT 3000 101
    Enkele technische gegevens 104
14. DE ANALOOG-DIGITAAL-OMZETTER PR 7800 105
    Werking van de analoog-digitaal-omzetter 109
    Enkele technische gegevens 112
15. DIGITALE LENGTEMETING BIJ GEREEDSCHAPSMACHINES 114
    De foto-elektrische meetwaarde-omvormer 114
    De impulsgenerator (klokimpulsgenerator) 118
    De telschakeling 119
    Voordelen van numerieke indicatie met een willekeurige nulinstelling 121
16. DOSEER-AUTOMAAT (MENG-AUTOMAAT) 123
    De werking van de doseer-automaat 124

17. INRICHTINGEN VOOR HET OVERBRENGEN VAN SIGNALEN OVER GROTE AFSTAND 131
Het multiplex-systeem BRT 604 voor de telecommunicatie en afstandsbesturing 133
Werking van de zendschakeling 135
De horizontale teller 136
De verticale teller 137
De ontvanger 138
De synchronisatie 140
Het multiplex-systeem BTR 708/709 voor afstandsmetingen . . . 140
De codering van de meetwaarden 141
De horizontale teller, zendzijde 142
De verticale teller, zendzijde 143
Het aantal registraties per meetwaarde en per tijdseenheid . . . 144
De overdracht via lange-afstandsleidingen. 144
18. AANHANGSEL 147
Benamingen en begrippen van de digitale techniek 147
19. LITERATUUROVERZICHT 167

HOOFDSTUK 1

INLEIDING

De voordelen van de digitale meting, informatie-overdracht, het opslaan van gegevens enz. maken deze systemen tot de belangrijkste hulpmiddelen van de moderne elektronica, niet in de laatste plaats zijn zij een van de grondslagen van de automatie. Het is wenselijk, hier enkele begrippen te verduidelijken, die voor het begrip van deze tak van de moderne techniek dienen bij te dragen.

Aan het begin van de techniek stond de manuele activiteit. Door de later opkomende mechanisatie aan het begin van de „industriële revolutie" werd het bedrijf gerationaliseerd: machines namen veel werkzaamheden over en het personeel kreeg tot taak, de door de machines uitgevoerde werkzaamheden te sturen en te controleren. Onder sturen moet dus een ingreep in een arbeidsproces worden verstaan, die voor het juiste verloop van dit proces beslist noodzakelijk is. Dit sturen kan ook geheel automatisch geschieden.

Zo worden, om een eenvoudig voorbeeld te noemen, de kleppen van een verbrandingsmotor automatisch gestuurd. De beroemde Jaquard-machine uit 1804 werd reeds door een ponskaartenband gestuurd. Overigens is het begrip „automatisch" niet nieuw, want reeds in de oudheid waren er „automaten" die zelf iets verrichtten. Dit waren de voorlopers van onze verkoopautomaten. Het woord automaat is uit de twee Griekse woorden „autos" = zelf en „mateo" = bewegen, ontstaan. Een besturingsproces wordt in de meeste gevallen geprogrammeerd; om bij het voorbeeld van de verbrandingsmotor te blijven: door de bijzondere constructie van de nokkenas en door het vaste toerental hiervan is dit „programma" vastgelegd. Wat gebeurt nu echter, wanneer bij een dergelijk besturingsproces, dat automatisch verloopt, bijv. door slijtage van een machine-onderdeel, door een te sterke daling van de bedrijfsspanning van de machines of apparaten, door een te geringe materiaaltoevoer of door afwijkende toleranties van de te verwerken produkten enz. het eindprodukt voor wat betreft kwaliteit en afmetingen onbruikbaar wordt? In een dergelijk geval moet het arbeidsproces door het personeel worden gestopt.

Het in bedrijf stellen is pas dan weer mogelijk, wanneer de oorzaken van deze kwaliteitsvermindering zijn weggenomen. Zijn de optredende storingen bijv. de afwijkingen van de bedrijfsspanning van de vereiste waarde of de te geringe materiaaltoevoer niet al te groot, dan kunnen dergelijke afwijkingen door een automatische regeling – dus zonder ingreep van het personeel – worden gecorrigeerd en het bedrijf behoeft niet te worden stilgelegd.

Overigens is ook deze gedachte niet nieuw, reeds James Watt had een van zijn stoommachines in 1794 van een „regulateur" voorzien, die de stoomtoevoer van het toerental van de machine afhankelijk maakte. De grondgedachte van de regeling is de terugleiding resp. de terugkoppeling. Wanneer door meetelementen wordt vastgesteld dat ontoelaatbare afwijkingen optreden, dan worden deze verschillen met de vereiste waarde geregistreerd en via een terugkoppelingsweg tot een correctiegrootheid omgevormd en weer aan de ingang toegevoerd. Op deze wijze ontstaat een gesloten regelcircuit. De machine, installatie of het apparaat stelt zich automatisch op de juiste waarde in.

Het eenvoudigste voorbeeld hiervoor is het elektronisch gestabiliseerde voedingsapparaat, dat voor bepaalde apparaten de bedrijfsspanning levert. Zo moeten bij de zeer gevoelige elektronenmicroscopen de bedrijfsspanningen uiterst stabiel zijn (beter dan $1 : 10^5$), d.w.z. het voedingsapparaat moet volautomatisch de uitgangsspanning op de vereiste waarde regelen, wanneer de netspanning onstabiel is. Machines en installaties met regelinrichtingen werken dus verregaand automatisch; daardoor kan de personeelsbezetting weer worden verminderd, de capaciteit kan worden vergroot, en bovendien verkrijgt men een constante hoge kwaliteit van de eindprodukten.

Dergelijke elektrische regelinrichtingen werken meestal met analoge signalen, d.w.z. de afwijking van de vereiste waarde, die zowel een elektrische alsmede een niet-elektrische meetwaarde kan zijn, wordt in een analoog gelijkspanningssignaal omgevormd, dat nu m.b.v. een elektronische regelaar de correctie uitvoert. Een digitaal systeem is hiervoor niet volstrekt noodzakelijk en voordelig, in eenvoudige gevallen zou het zelfs gecompliceerd en daardoor ook te duur kunnen zijn. Betreft het echter, om ook hier een eenvoudig voorbeeld te noemen, bij het constateren van de afwijking een eenvoudige lengtemeting, dan kan dit met een inductief systeem geheel automatisch geschieden. Het meetsignaal is analoog en de meting levert absolute waarden.

Een dergelijke meting wordt al veel gecompliceerder, wanneer bijv. volgens een optisch systeem een code-liniaal wordt afgetast. In dat geval is het signaal digitaal*, en de meting levert eveneens absolute waarden op.

Gaat het echter om het tellen van strepen op een liniaal, dan is het resultaat een relatieve plaatsbepaling, het signaal echter digitaal.

Geheel anders is het, wanneer van de machine of installatie wordt verlangd, dat deze een geheugen heeft, zodat hij enige verschillende programma's automatisch laat verlopen en dat met dit proces een informatieverwerking verbonden moet zijn. Bij optredende storingen dienen deze geheel vanzelf gecorrigeerd te worden, waarbij het systeem uit een groot aantal mogelijkheden en informaties het enige juiste in fracties van een seconde moet uitzoeken. Hierbij zijn onder bepaalde omstandigheden grote en ingewikkelde berekeningen noodzakelijk. Het systeem neemt dan ook nog de laatste, voor het personeel tot dusver overgebleven functies over. Met behulp van logicaschakelingen zoals „EN-schakelingen", „OF-schakelingen", „NIET-schakelingen" enz., waarmee beslissingen kunnen worden genomen, met elektronische geheugens, tel- en rekeninrichtingen, met foutloos werkende en zichzelf controlerende informatie-overdrachtsystemen, die vele informaties gelijktijdig kunnen registreren, wordt de automatisering, zoals deze tot dusver bestond, tot automatie.

De automatie is dus het einddoel van de automatisering; pas sedert de Tweede Wereldoorlog bestaan de technische middelen, die voorwaarde voor de automatie zijn. Om deze te realiseren is een groot aantal elektronische apparaten noodzakelijk. Het begrip automatie is in de USA ontstaan. Vlak na de oorlog schreef J. Diebold een artikel „Automation, the advent of the automatic factory" en N. Wiener creëerde de theoretische grondbeginselen in „Cybernetics, or control and communication in the animal and the machine" (1948). Onafhankelijk van deze ontwikkeling ontstonden digitale systemen.

Aan het „Massachusetts Institute of Technology" ontstond voor de eerste maal een digitale machine-besturingsinrichting, ook werden diverse computertalen uitgevonden. Moderne, omvangrijke besturings- en regelsystemen werken volgens het digitale systeem. Deze gaan meestal uit van het duale stelsel; bijgevolg zijn speciale apparaten noodzakelijk, waarmee analoge signalen in digitale kunnen worden omgezet enz. enz. In de vol-

---

* „Digitaal" (ook „numeriek") betekent met getallen, komt van digitus = vinger, cijfer.

gende hoofdstukken worden dus allereerst de verschillende functie-eenheden, die in dergelijke schakelingen voorkomen, de talstelsels, coderingsmethoden alsmede de grondbeginselen van de analoog-digitaal-omzetters beschreven, waarna een beschrijving van apparaten en installaties volgt, voor welke deze systemen het werkingsprincipe vormen.

HOOFDSTUK 2

DE BELANGRIJKSTE FUNCTIE-EENHEDEN VAN ELEKTRONISCHE APPARATUUR

Elektronische apparaten worden gekenmerkt door het gebruik van elektronische onderdelen, zoals elektronenbuizen en op het ogenblik in het bijzonder transistors en geïntegreerde schakelingen. In de loop der tijden bleken bepaalde constructies bijzonder doelmatig; de fabricagemethoden werden vereenvoudigd en gerationaliseerd. Met de panelen in de pioniertijd van de elektronica begon het – bij de micromoduul staan wij op het ogenblik.

Het is gebleken, dat in alle elektronische apparaten, onverschillig of deze volgens het analoge of digitale systeem werken, bepaalde functie-eenheden steeds weer terugkeren. Dit geldt in de eerste plaats voor het voedingsapparaat, voor de verschillende versterkers, voor impedantie-omvormers, impulsvormers, amplitudebegrenzers enz. Hierbij vormt ook de algemene elektronica (radio, televisie, afspeelapparatuur) t.o.v. de industriële elektronica geen uitzondering.

Door de miniaturisering van de bouwelementen (foto 1, 2 en 3) en nieuwe montagemethoden (bijv. gedrukte schakelingen) ontstond eigenlijk geheel vanzelf een nieuwe technologie, die haar stempel op de gehele moderne elektronica drukt. Zoals men vroeger elektronenbuizen als een gestandaardiseerde eenheid kon vervangen en de schakelingen volgens de gegevens van deze buizen ontwikkelde en bouwde, zo gebeurt dit nu met volledige functie-eenheden, die in de meeste gevallen ook reeds gestandaardiseerde gegevens hebben, zodat men er willekeurige schakelingen mee kan samenstellen. Deze gegevens dienen eventueel in geringe mate te worden aangepast. Vooral in de digitale techniek streeft men naar uniforme signalen, die zodanig dienen te zijn, dat de informatie foutloos wordt overgedragen. Aan het einde van de overdrachtsweg moeten de signalen nog sterk genoeg zijn, om apparaten met een hoge mate van zekerheid te sturen. In de meeste gevallen worden vaste gelijkstroomsignalen gebruikt, momenteel bestaan er 5 mA-, 20 mA-, 50 mA- en 120 mA-signalen voor de verschillende functie-eenheden.

Hierbij is het met belangrijk, op welke wijze deze functie-eenheden werden vervaardigd, of dat nu in blokvorm of op panelen met gedrukte bedrading is (foto 4 en 5) of wel zijn uitgevoerd als geïntegreerde schakeling enz. Het belangrijkste voordeel van deze methode is de seriefabricage van de eenheden, de veel eenvoudiger en goedkopere service en vooral voor de constructeur is het van voordeel, dat hij uit een voorraad bestaande functie-eenheden zeer snel willekeurige elektronische apparaten, dus ook meetapparaten voor analoge zowel als digitale systemen kan samenstellen.

Deze apparaten bezitten dan gestandaardiseerde gegevens (die bijv. alleen al door het gebruik van transistors in de meest ruime zin geboden worden); de aanpassing aan verdere apparaten, bijv. aan registreerapparaten, aan informatie-verwerkende apparatuur enz. die buiten deze norm liggen, is onder bepaalde omstandigheden eveneens weer met bestaande functie-eenheden mogelijk.

In het volgende worden daarom enkele van deze functie-eenheden beschreven, die hoofdzakelijk in apparaten voor digitale meettechniek van essentieel belang zijn. De verschillende kenmerken van de analoge en de digitale systemen worden later behandeld.

Een algemeen heersende opvatting dient hier echter te worden tegengesproken, namelijk die, dat de digitale meettechniek iets geheel nieuws is. Het digitale systeem berust, zoals later nog zal worden uiteengezet, op een kwantisering van de meetwaarde, d.w.z. deze waarde wordt in kleine deeltjes (digits) verdeeld, die daarna worden opgeteld. Het resultaat van dit tellen geeft dan een informatie omtrent de grootte van de meetwaarde. Men kan dus zeggen, dat het belangrijkste kenmerk van de digitale systemen het tellen is. Om de juistheid van deze methode te vergroten maakt men de kwanten uiterst klein (men zegt het oplossend vermogen wordt vergroot), en het tellen – dat in de Oudheid eerst m.b.v. de tien vingers geschiedde en op het ogenblik met snelle elektronische tellers wordt uitgevoerd – levert het resultaat numeriek af, zoals wij dit reeds van de kilometerteller van de auto, de elektriciteitsteller en tegenwoordig ook van klokken kennen.

Dus is, om een voorbeeld te noemen, het wegen van een voorwerp, d.w.z. het bepalen van zijn gewicht, in feite een digitaal proces. De afzonderlijke kwanten zijn de gewichten, die op de weegschaal worden gelegd. De methode is in meet-technisch opzicht op de „nulmethode" gebaseerd, want er worden zolang kwanten bijgelegd, tot de wijzer (de „nulindicator") het nul-merkteken heeft bereikt.

Bij het analoge meetsysteem geniet daarentegen de „uitslag- of indicatie-

methode" de voorkeur, bijv. de indicatie door de wijzer van een meetinstrument.

Hieruit blijkt, dat het digitale systeem met de zeer nauwkeurige nulmethode waarschijnlijk ouder is dan de later ontwikkelde analoge systemen. Het is de terugkeer van een oud systeem onder nieuwe, veel betere technische omstandigheden en mogelijkheden. Tot zover iets over de „filosofie" van deze zaak.

Zonder de elektronische versterker zou er geen elektronica bestaan, want de versterking is de belangrijkste factor op ieder gebied van de elektronica. Zonder versterker zou er geen radio, geen televisie en geen telefoongesprek over grote afstand mogelijk zijn, de versterking is ook de primaire factor in de elektronische meettechniek. Het zwakke meetsignaal moet worden versterkt, voordat het kan worden gemeten.

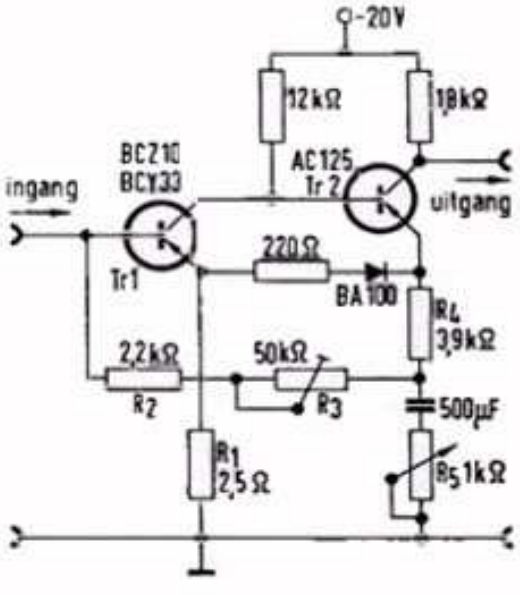


Fig. 1. Een tweetraps-versterker met directe koppeling.

De schakeling in fig. 1 toont een tweetraps-transistorversterker met galvanische koppeling. Een gelijkstroom-tegenkoppeling gaat van de emitter van de transistor Tr_2 via de weerstanden R_4, R_3 en R_2 naar de basis van de transistor Tr_1; deze heeft een sterke stabiliserende werking en bedraagt bij een voldoende grote inwendige gelijkstroomweerstand van de op de ingang aangesloten spanningsbron ca. 20 dB, waardoor de versterking tot ca. 10% wordt verminderd. Aan de weerstand R_3 kunnen de werkpunten van beide trappen worden ingesteld. Via de weerstanden R_4, R_3 en R_2 vindt ook een wisselstroom-tegenkoppeling plaats, waarvan de grootte aan de weerstand R_5 kan worden ingesteld. De stroomversterking is tussen 100 en 700 variabel.

Deze tegenkoppeling alsmede een meekoppeling, die door de via R_1 vloeiende emitterstroom van de tweede trap ontstaat, verlagen in hoge mate de ingangsweerstand van de versterker. Een stroomsturing is dan ook reeds met relatief kleine bronweerstanden mogelijk.

Fig. 2 toont twee verschillende schakelingen van impedantieomvormers. In de buizentechniek zijn deze als katodevolgers bekend; in de transistortechniek als emittervolgers. Hun taak is het, een hoge ingangsimpedantie in een lage uitgangsimpedantie om te vormen. Op deze wijze kunnen de tijdconstanten van de andere aangesloten schakelingen worden verkleind, de aanspreektijden verkort. De spanningsversterking ligt direct onder 1; de emittervolger veroorzaakt enkel en alleen een versterking van de stroom.

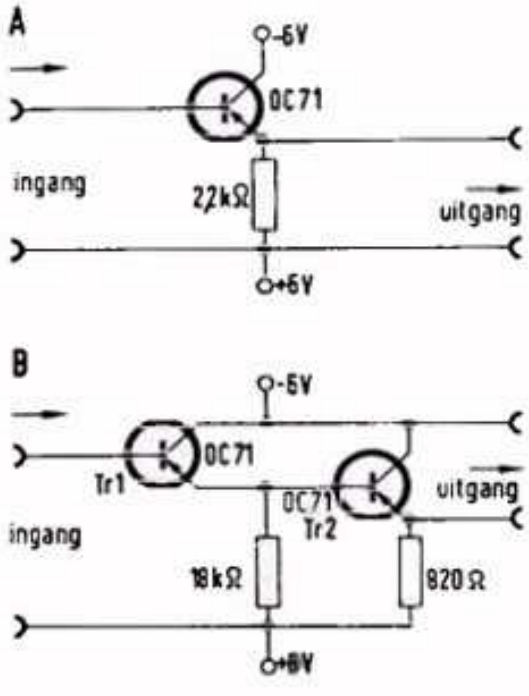


Fig. 2. Twee schakelingen van „emittervolgers".

In het bijzonder worden zij in de digitale techniek als laagohmige triggertrappen in de toevoerleidingen van elektronische tellereenheden en ter vermindering van de inwendige weerstand van een „EN-schakeling" gebruikt. Zij worden toegepast, wanneer de belastbaarheid van een functieeenheid voor de besturing van daaraan aangesloten verdere eenheden niet toereikend is (bijv. bij het triggeren en terugzetten van flip-flops). Terwijl men bij de schakeling *A* bij een ingangsweerstand van 10 kΩ een uitgangsweerstand $< 350\ \Omega$ bereikt, is bij de schakeling *B* de waarde $< 20\ \Omega$.

Een belangrijke en ook in de algemene elektronica bekende schakeling is de multivibrator, die in vele elektronische schakelingen, bijv. in de tijdbasisschakeling van de elektronenstraal-oscilloscoop toepassing vindt.

Spreekt men in het algemeen over een „multivibrator"*, dan bedoelt men de „astabiele multivibrator", die als generator voor rechthoekige signalen werkt, die echter ook kan worden getriggerd. De onderste grensfrequentie ligt bij 10^{-2} Hz, de bovenste wordt door de eigenschappen van de gebruikte transistors bepaald. Fig. 3 toont de schakeling van een astabiele multivibrator, zoals deze als functie-eenheid in andere schakelingen kan worden toegepast.

Meestal gebruikt men hem als klokimpulsgenerator voor telschakelingen en rekenmachines, voor knipperinstallaties en natuurlijk als rechthoekimpulsgenerator voor controle- en meetdoeleinden in de algemene en industriële elektronica.

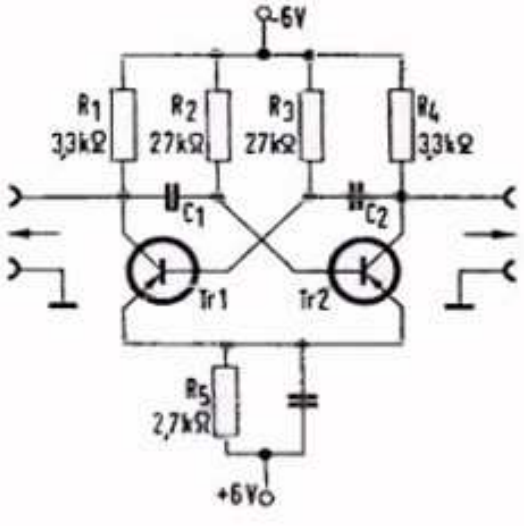


Fig. 3. Schakeling van een astabiele multivibrator.

De aangegeven schakeling is in staat, een rechthoekspanning van 2,5 V te leveren. De werking is vrij eenvoudig. Bij het aanleggen van de bedrijfsspanning zullen eerst de beide transistors in geleidende toestand komen, maar door onvermijdbare asymmetrie zal spoedig de toestand optreden, dat een van de beide transistors een oplopende stroom krijgt, waardoor via de kruiskoppeling de andere transistor wordt geblokkeerd. Deze transistor blijft nu stroomloos, tot de condensator tussen de basis van de ene en de collector van de andere transistor is ontladen. Daarna slaat de schakeling om en het zojuist beschreven proces begint weer maar dan in tegengestelde richting. Aan de beide uitgangen kunnen de rechthoekspanningen worden

---

* De „multivibrator" wekt rechthoekige golven op met veel harmonischen vandaar deze naam.

afgenomen: Wanneer aan de rechter uitgang een positief signaal verschijnt, is het op datzelfde ogenblik aan de linker uitgang negatief.

De monostabiele multivibrator, monoflop of ook wel mono-flip-flop genaamd, heeft een stabiele en een quasi-stabiele schakeltoestand. Door een impuls kan deze flip-flop uit de stabiele toestand in de quasi-stabiele worden gebracht, waardoor de schakeling geheel vanzelf na kortere of langere tijd weer in de stabiele toestand terugkeert. De mono-flip-flop is dus een elektronische tijdschakelaar, die voor een instelbare tijdsduur kan in- en uitschakelen.

De toepassingen hiervan liggen vooral op het gebied van de impulsvorming (impuls-regeneratie), waarbij de oorspronkelijke rechthoekige impulsvorm weer dient te worden hersteld. Bovendien zijn impulsvertragingen en impulsverlengingen mogelijk.

Fig. 4 toont het schema van een monostabiele multivibrator.

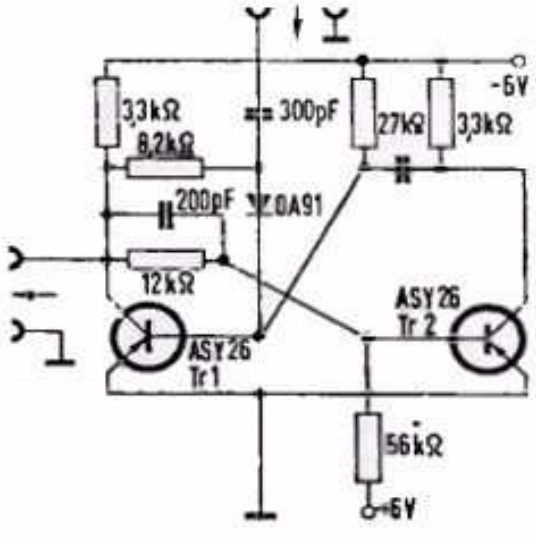


Fig. 4. Schakeling van een monostabiele multivibrator.

In de rusttoestand is de transistor Tr_1 geleidend en de transistor Tr_2 geblokkeerd. Door een positieve sprong van de ingangsspanning wordt Tr_1 geblokkeerd en Tr_2 geleidend; dit geschiedt voor de tijd t, die bij de aangegeven schakeling volgens de formule $t = 19 \cdot C$ (t in µs; C in nF) kan worden berekend. Aan de uitgang is dan een negatieve rechthoekimpuls met een tijdsduur t en een amplitude van ca. 4,5 V beschikbaar. De lengte van de afgegeven impuls wordt door de tijdconstante $C \cdot R$ van de koppelelementen bepaald; de impulsduur is door een verandering van C of R instelbaar.

Een bistabiele multivibrator, meestal flip-flop genoemd, heeft twee stabiele schakeltoestanden. De omschakeling geschiedt door trekkerimpulsen. Elke impuls heeft een omschakeling tot gevolg. Fig. 5 toont het schema van een flip-flop, zoals deze in binaire telschakelingen wordt toegepast. Hierbij werkt de flip-flop als binair geheugen. Hij wordt echter ook als frequentie-reductietrap toegepast.

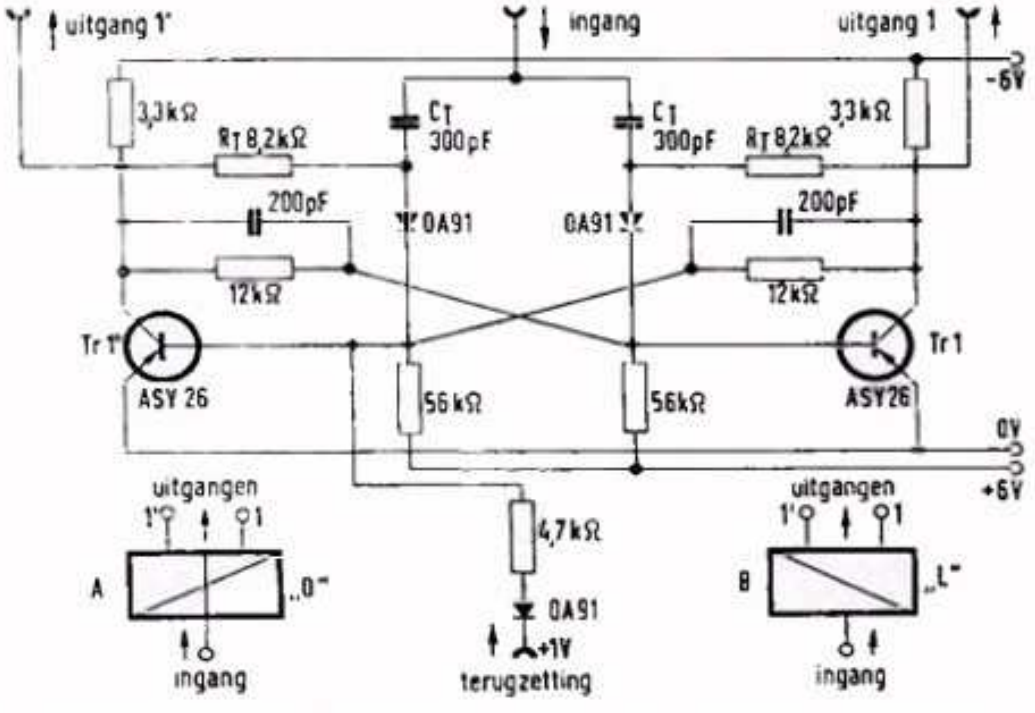


Fig. 5. Schakeling van een bistabiele multivibrator (flip-flop) zoals deze in elektronische telschakelingen wordt gebruikt.

Aangenomen wordt, dat transistor Tr_1' geleidend en transistor Tr_1 geblokkeerd is. Daar de beide emitters een waarde nul hebben, is het collectorpotentiaal van Tr_1' gelijk aan de restspanning U_{CEO} van een overgestuurde transistor en bedraagt in de bovenstaande schakeling max. —0,3 V. De bijbehorende basisspanning ligt vanwege de oversturing van de transistor op max. —0,35 V, deze is dus iets groter. De collector van de geblokkeerde transistor Tr_1 is positief en ligt ook onder ongunstige omstandigheden boven +0,2 V. Aan de diode naar de basis van Tr_1 (die bovendien via R_T met de collector van Tr_1 is verbonden) ligt dus een blokkeerspanning van minstens —5 V. De naar de basis van de ingeschakelde transistor Tr_1' leidende diode is daarentegen in doorlaatrichting zwak gepoold, daar de collector van een overstuurde transistor t.o.v. de basis positief is.

Komt nu op de gemeenschappelijke stuuringang van de flip-flop een positieve stuurimpuls met een steile flank bij een amplitude < 5 V, dan wordt deze via de in doorlaatrichting gepoolde diode direct naar de basis van transistor Tr_1' geleid, terwijl de weg via de in blokkeerrichting gepoolde diode van Tr_1 is afgesloten. Op deze wijze wordt door de positieve stuurimpuls de blokkering van Tr_1' ingeleid, die nu, zoals reeds bij de astabiele multivibrator werd beschreven, de volledige omschakeling van de trap in de geblokkeerde toestand voltooit.

Hierbij worden de schakeltoestanden van de beide dioden verwisseld, zodat een volgende eveneens positieve trekkerimpuls de omschakeling van de flip-flop in de uitgangstoestand tot gevolg heeft, d.w.z. de transistor Tr_1' wordt weer geleidend en Tr_1 geblokkeerd.

Krijgt intussen de ingang van deze flip-flop-trap een negatieve rechthoekimpuls toegevoerd, dan wordt deze impuls aan zijn beide flanken via C_T en R_T gedifferentieerd.

Hierbij veroorzaakt nu het positieve gedeelte aan de achterflank van de trekkerimpuls een omschakeling van de bistabiele multivibrator. Op deze wijze geschiedt het omschakelen in de tijd gezien de breedte van de trekkerimpuls later dan wanneer de sturing met een positief rechthoeksignaal wordt uitgevoerd.

Deze vertragende eigenschap van negatieve trekkerimpulsen biedt enige voordelen. Worden flip-flop-trappen in telschakelingen te zamen met „EN-schakelingen" (vgl. pag. 63) toegepast, dan zijn deze reeds vanaf het begin van de negatieve impuls open, de flip-flop schakelt daarentegen pas bij de achterflank van deze impuls om. Op deze wijze kunnen gecompliceerde vertragingsschakelingen in de flip-flop-ingang worden vermeden. De schakeling volgens fig. 5 toont bovendien nog de aansluiting van de terugzetleiding. Het terugzetten geschiedt met positieve impulsen.

Onder de schakeling van de flip-flop staan de algemeen gebruikelijke schakeltekens voor de bistabiele multivibrator. *A* toont de bistabiele multivibrator in de toestand „O", *B* in de toestand „L" (vgl. pag. 24).

Een in elektronische schakelingen vaak terugkerende schakeling is de Schmitt-trekker, die in fig. 6 is weergegeven. Het essentiële van deze bijzondere schakeling is, dat de omschakeling van de twee mogelijke toestanden „O" en „L" (zie bistabiele multivibrator alsmede de tekst op pag. 33) geschiedt, wanneer de spanning van het trekkersignaal een gedefinieerd en instelbaar niveau heeft overschreden. Met deze elektronische schakeling heeft de constructeur en ook de meettechnicus een middel in de hand, om

elektrische omschakelingen bij gedefinieerde spanningswaarden te kunnen laten plaatsvinden.

De uitgangsspanning van de Schmitt-trekker verandert abrupt, d.w.z. in een rechthoeksspanningssprong, wanneer de ingangsspanning niet sprongsgewijze verandert. Met andere woorden: aan de ingang kan een op een of andere wijze gevormde trekkerimpuls liggen; overschrijdt de spanning hiervan het ingestelde niveau, dan ontstaat aan de uitgang een rechthoeksignaal. Om deze reden worden Schmitt-trekkers ook als impulsvormers toegepast.

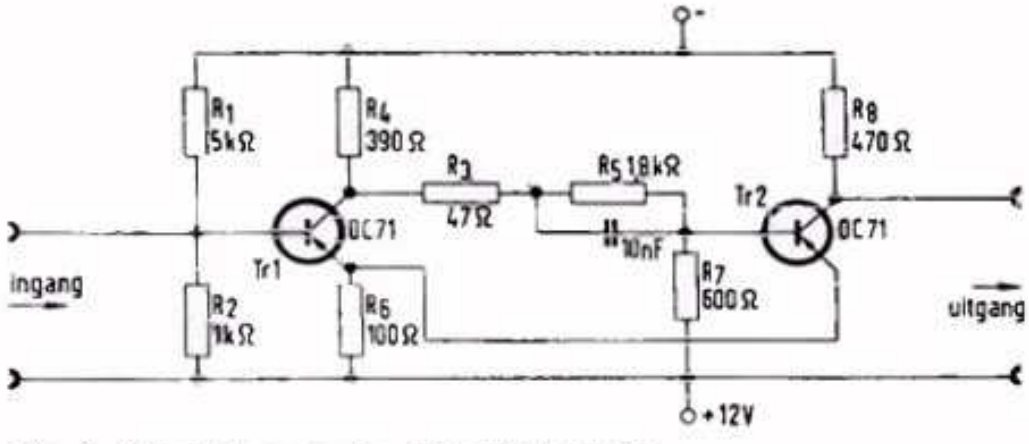


Fig. 6. Schakeling van de „Schmitt-trekker".

De schakelelementen R_1, R_2 en R_6 van de transistor Tr_1 worden zodanig gedimensioneerd, dat deze geblokkeerd is. Daardoor is de weerstand R_2 stroomloos. Hoe liggen nu de verhoudingen bij de tweede transistor? De basis-emitterspanning is het verschil van twee spanningen. De ene spanning ontstaat aan de uit verscheidene weerstanden bestaande spanningsdeler (R_4 – R_3 – R_5 – R_7); de andere aan de weerstand R_6. De transistor Tr_2 is geleidend. Dit is de uitgangstoestand van de Schmitt-trekker.

Komt nu op de ingang een negatieve spanning, de trekkerimpuls, die de transistor Tr_1 doet geleiden (de impulsspanning overschrijdt de aan de weerstand R_2 afvallende spanning), dan vloeit door de weerstand R_3 een stroom, er ontstaat een spanningsval, die via de condensator als een extra positieve spanning de basis van de transistor Tr_2 beïnvloedt. Daardoor daalt de stroom in deze transistor en deze stroomafname is groter dan de stroomtoename in de transistor Tr_1.

In het verdere verloop van dit proces wordt Tr_2 volledig geblokkeerd en Tr_1 geleidend. Daarmee is de rechthoekspanningssprong volledig.

Daalt de ingangsspanning weer onder het beginniveau, dan wordt de transistor Tr_1 weer geblokkeerd. De stroom door de weerstanden R_3 daalt tot nul. Daarbij ontstaat een spanningssprong, die weer via de condensator de basis van de volgende transistor Tr_2 stuurt.

Nu is het echter een negatieve spanningsimpuls, die de stroom door deze transistor inleidt. De stroom gaat door de gemeenschappelijke emitterweerstand R_7. De aan deze weerstand optredende spanning maakt, dat de transistor Tr_1 in geblokkeerde toestand blijft.

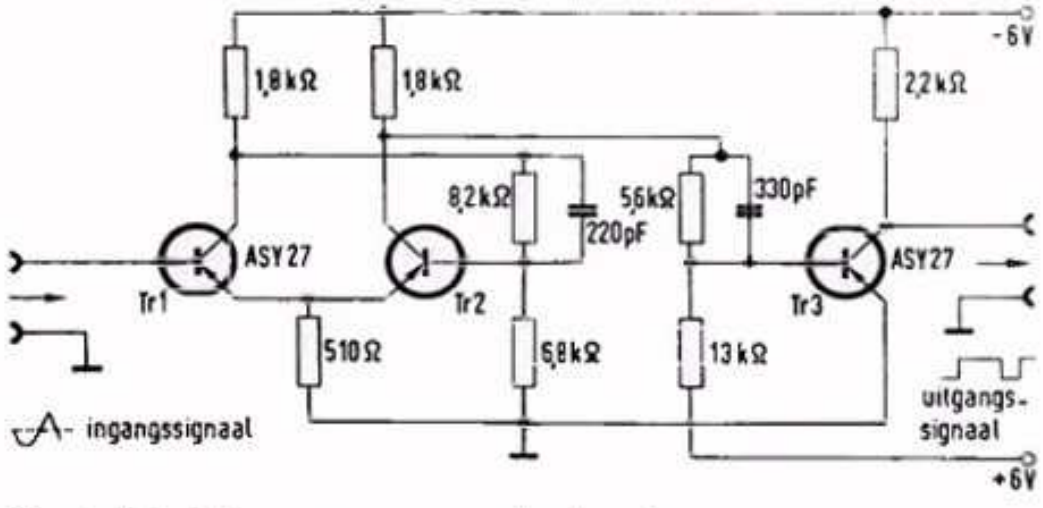


Fig. 7. Schakeling van een eenvoudige impulsvormer.

De schakeling van de impulsvormer in fig. 7 bestaat eveneens uit een Schmitt-trekker (Tr_1 en Tr_2) met een daar achter geschakelde versterkertrap (Tr_3), die bovendien een omkering van de polariteit van de trekkerimpuls veroorzaakt. Bij deze schakeling is een spanningsverschil van 0,2 V (het verschil tussen het inschakel- en uitschakelniveau) reeds voldoende om de schakeling in werking te laten treden.

Voor de digitale techniek zijn verder de „logica-schakelingen" van groot belang. Als complete eenheden – zie foto 4 – worden zij „logica-bouwstenen" genoemd, waartoe men ook de flip-flops enz. rekent. Deze schakelingen worden vanaf blz. 62 nader toegelicht, omdat hun functie eenvoudiger te verklaren is, wanneer vooraf iets omtrent de eigenaardigheden van de digitale systemen is gezegd.

HOOFDSTUK 3

ANALOGE EN DIGITALE MEETTECHNIEK

Het begrip „meten" is gedurende de laatste decennia belangrijk uitgebreid. Onder meten verstond men vroeger min of meer een op zichzelf staande handeling, die in de regel door één persoon werd uitgevoerd. Vereist zijn bepaalde meetapparaten, meetopnemers enz. Karakteristiek voor deze metingen is, dat met het aflezen van de meetwaarden en de interpretatie de handeling is beëindigd. De verdere verwerking van de meetresultaten ligt buiten het mechanische aspect van deze handeling. Vanzelfsprekend kan deze handeling zo vaak men dit maar wenst, worden herhaald, ook kunnen de apparaten soms vast worden opgesteld, bijv. in een schakelpaneel, schakelhuisje enz.

De automatische besturing en regeling van machines en apparaten vereist daarentegen zeer vele en snelle metingen, die eveneens automatisch worden uitgevoerd en waarvan de resultaten als meetinformaties in speciale apparatuur verder worden verwerkt. Een automatische regeling bestaat immers in het meten van de werkelijke waarden, die dan voortdurend met de vereiste waarden worden vergeleken. Dit vergelijken leidt tot de correctiewaarde voor de regeling. Het betreft hier dus meetapparatuur, die in de meeste gevallen vast is opgesteld en op deze wijze een bestanddeel van de machine, de produktie-installatie enz. vormt. Daarbij komt nog een andere speciale meetfunctie.

De op deze wijze automatisch regelende en sturende machine dient ook zichzelf te controleren, opdat produktievermindering en daardoor onnodig verlies wordt vermeden.

Het ligt voor de hand, dat een dergelijke meettechniek geheel nieuwe middelen en methoden vereist. Daartoe behoort in de eerste plaats de elektronica. Deze biedt talloze technische mogelijkheden. Verder kunnen worden genoemd de digitale systemen, die steeds belangrijker worden.

Aan de hand van een eenvoudig voorbeeld – in de inleiding werd dit reeds kort belicht – is het verschil tussen de analoge en de digitale methode duidelijk te zien. Zoals algemeen bekend is, bestaan er twee prin-

cipieel verschillende weegschaaltypen: de hefboomweegschaal en de veerweegschaal. Terwijl bij de laatstgenoemde het te wegen voorwerp de veer uitrekt en een met het gewicht resp. de kracht* overeenkomende indicatie hiervan het gevolg is (zie fig. 8), m.a.w. terwijl het dus in dit geval een analoge methode betreft, is de handeling van het bepalen van het gewicht bij de hefboomweegschaal geheel anders. Op de ene schaal wordt het voorwerp gelegd, waarvan de massa dient te worden vastgesteld. Daarna wordt de andere schaal d.m.v. gestandaardiseerde (geijkte) gewichten zwaarder gemaakt. Er worden zolang gewichten toegevoegd, tot de hefboomweegschaal in balans is. De massa's worden dus met elkaar vergeleken.

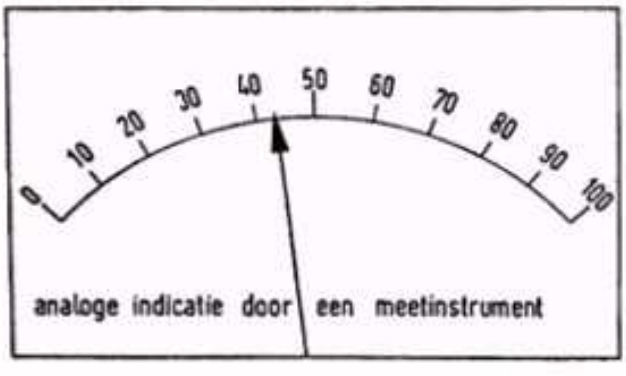


Fig. 8. Analoge indicatie van een meetwaarde. De spanning of de stroomsterkte wordt door een analoge hoek (uitslag van wijzer) weergegeven.

Het betreft hier dus in de eerste plaats meet-technisch een „nul-methode" – in tegenstelling tot de „uitslag-methode" van de veerweegschaal – en ten tweede geschiedt het wegen digitaal. Terwijl bij de analoge methode de meetgrootheid direct de indicatie teweegbrengt, bijv. de wijzer van de weegschaal beweegt, wordt bij het digitaal meten de meetgrootheid gekwantiseerd. Het aantal kwanten, waarvan de grootte willekeurig kan worden gekozen, geeft dus informatie omtrent de meetgrootheid. Hoe kleiner de kwantiseringsgrootheid wordt, (dus de kleinste gewichtseenheid voor de hefboomschaal) des te groter is de meetnauwkeurigheid.

Bij de digitale methode wordt dus de meetwaarde van de fysische oorsprong losgemaakt, het is dan louter een getal. Dit getal kan als „informatie" worden „gecodeerd"; in ieder geval is dit getal niet meer analoog aan de „natuurkunde van de handeling". Overigens is de werking van de hefboomweegschaal tegelijkertijd een duidelijk voorbeeld van de werking van een analoog-digitaalomzetter (zie blz. 105). Wanneer men gaat wegen, begint men

* Het gewicht resp. de kracht wordt in kilopond (kp) resp. megapond (Mp) gemeten.

niet eerst een van de uniform kleine basiseenheden op de gewichtenschaal van de weegschaal te leggen, maar men probeert eerst met de veelvouden van deze eenheid, en wel allereerst met de grootste, m.a.w. men legt geen gram-gewichten, maar kilogram-gewichten op de schaal. Het grootst mogelijke gewicht blijft dan op de schaal liggen. Dit herhaalt men daarna met alle andere kleinere veelvouden van de basiseenheid, bijv. met 100 gram-gewichten, daarna met 10 gram-gewichten enz. Hierbij treedt steeds weer de situatie op, dat een te groot gewicht op de schaal wordt gelegd, waardoor de weegschaal over de balansstand heen gaat. Het op de schaal gelegde gewicht wordt daarna door een ander vervangen.

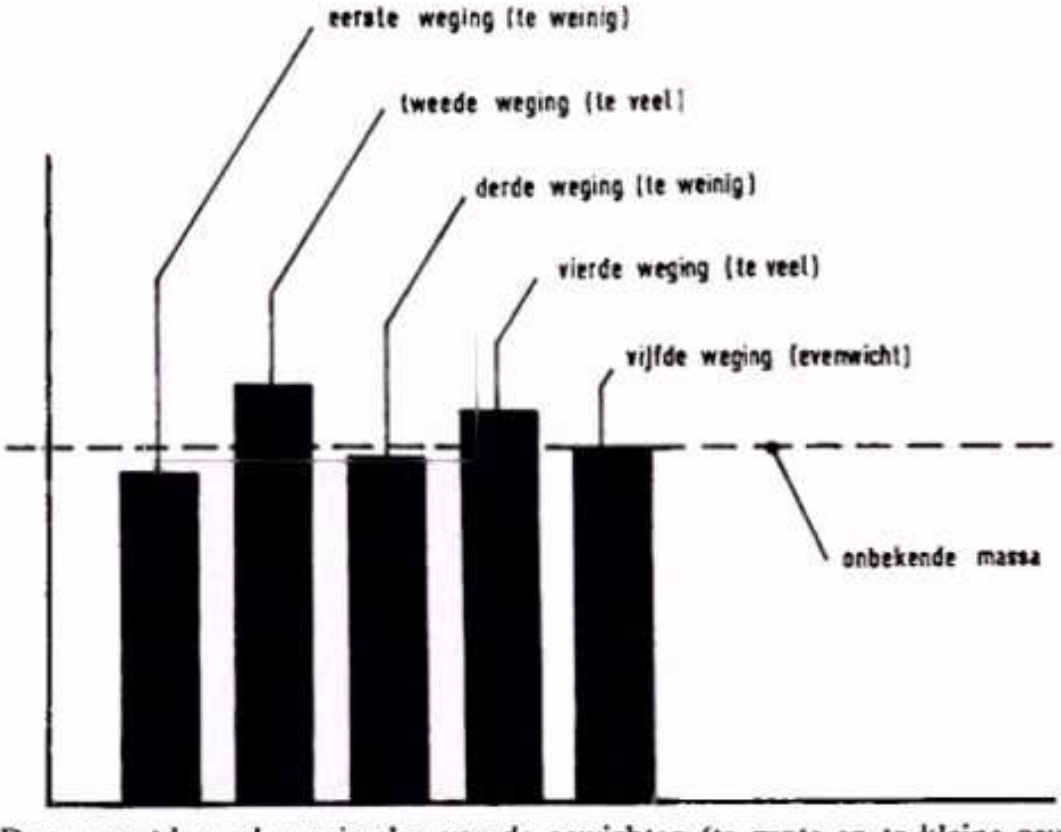


Fig. 9. Door voortdurend verwisselen van de gewichten (te grote en te kleine gewichten) komt men steeds dichter bij het onbekende gewicht van het te wegen voorwerp.

Volgens ditzelfde principe werken elektronische analoog-digitaal-omzetters. Alleen zijn het hier gedefinieerde spannings- en stroomsterkte-„kwanten", die voor het uitbalanceren van de „weegschaal" worden gebruikt. Het is dus een spannings- en stroomsterkten-vergelijking. Fig. 9 toont deze methode van vergelijken op schematische wijze.

De klok is misschien het bekendste voorbeeld voor een digitaal werkend meetapparaat. De tijd wordt niet continu, dus analoog gemeten, veeleer gaat de wijzer steeds met een gelijkblijvend klein bedrag verder. De tijd wordt gekwantiseerd en wel in willekeurig vastgelegde eenheden.

Terwijl de registratie van een analoog signaal* geen speciale moeilijkheden oplevert (zie fig. 10) – bijv. met directe schrijvers, registrerende compensatoren, oscilloskopen – wordt het vastleggen van de meetwaarden echter vrij gecompliceerd, want in dit geval verlangt men, dat de vastgelegde informatie snel kan worden afgeroepen en verder verwerkt. Ook hier staat de digitale methode boven de analoge.

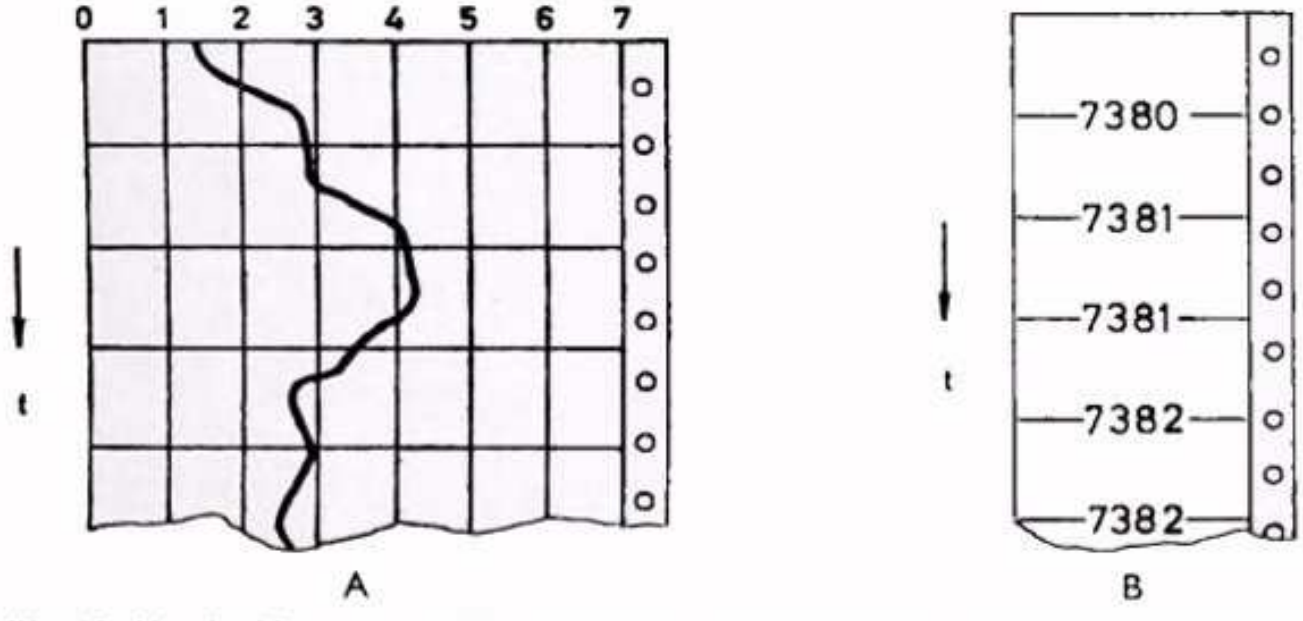


Fig. 10. Voorbeeld voor een analoge en een digitale registratie. *A* toont een continu geschreven kromme (bijv. met een directe schrijver, automatische compensator enz.). In *B* worden de meetgegevens op een strook gedrukt (numerieke registratie).

Continu uitgevoerde analoge metingen, in combinatie met eveneens analoge registraties maken daarentegen een beter overzicht in de tijd mogelijk; op deze wijze kan uit het verloop van de meetkromme met een waarschijnlijkheid het verdere verloop worden voorspeld. De numerieke indicatie van de meetresultaten is in dit opzicht niet zo voordelig. Hierbij is echter de afleesfout praktisch uitgeschakeld. Deze ontstaat bij meetapparaten

---

* In het algemeen kan worden gezegd, dat een analoog signaal verschillende informatieparameters heeft, zoals de amplitude, de frequentie, de fase. Bij digitale signalen zijn de parameters: het aantal impulsen, de impulsbreedte, de impulsafstand.

met een analoge indicatie door de parallax. Ook is een vergissing bij het schatten van de streepjes mogelijk, hetgeen zeer gemakkelijk kan voorkomen, omdat niet alle strepen van cijfers zijn voorzien. Bovendien is het een nadeel, dat een schaalwaarde slechts van zeer nabij kan worden afgelezen.

Daarentegen is het aflezen van apparaten met een digitale (numerieke) indicatie foutloos, gemakkelijker uit te voeren en onder bepaalde omstandigheden vanaf een vrij grote afstand (indicatie door oplichtende tableaus) mogelijk. Wanneer men aanneemt, op een instrumentenschaal nog een honderdste van een waarde goed te kunnen aflezen (wat in de praktijk niet al te vaak voorkomt), dan bedraagt de verhouding tussen de kleinste gedefinieerde uitslag van de wijzer en het meetbereik (100 schaaldelen) 10^{-2}.

Geschiedt daarentegen een numerieke indicatie in vijf decaden, dan is de overeenkomstige verhouding 10^{-5}. Men dient hierbij te bedenken, dat de numerieke indicatie in dit geval overeenkomt met een vijf decaden omvattende logaritmische schaal, waarbij de indicatienauwkeurigheid overal even groot is.

Momentele waarden zijn óf onmiddelijk als elektrisch analoog signaal beschikbaar, óf wanneer het niet-elektrische grootheden zijn, leveren meetwaarde-transformatoren het elektrische signaal, dat daarna wordt gedigitaliseerd. Steeds worden echter elektrische signalen verwerkt, dus spannings-, stroomsterkte- en weerstandswaarden. Is de meetgrootheid aan snelle veranderingen onderhevig, dan moet de analoog-digitaal-omzetting natuurlijk evenredig snel geschieden. In andere gevallen, bijv. bij vele metingen van niet-elektrische grootheden (bijv. temperatuur, uitzettingen, pH-waarde enz.) is meestal een langzamer omzetten mogelijk.

De momentele waarde kan ook als een impulsreeks met een frequentie, evenredig aan de meetwaarde ter beschikking staan. Dan berust de meting op een bepaling van deze frequentie. Volgens de digitale methode worden de trillingen of impulsen tijdens een gedefinieerde tijdsduur geteld (zie blz. 53).

De analoog-digitaal-omzettingen van spannings-, stroomsterkte- of weerstandswaarden geschiedt óf als tijd- óf als trappencodering. Bij de tijdcodering wordt de meetgrootheid met behulp van een zaagtandcodeerder in een evenredig tijdsinterval of in een overeenkomstig aantal impulsen omgezet, die – zoals reeds vermeld – worden geteld. Een trappencodering van het soort, zoals dit aan de hand van het voorbeeld van het wegen m.b.v. een hefboomweegschaal werd toegelicht, geschiedt in de regel met een automatisch balancerende compensator (zie blz. 105) of met een meetbrug.

Het resultaat is dan decimaal, binair of decimaal-binair gemengd gecodeerd.

Uit een aantal gekwantiseerde momentele waarden kunnen gemiddelde waarden worden gevormd, en wanneer deze met de tijd (meetperiode) worden vermenigvuldigd, verkrijgt men de integrale waarde. De kwantisering van vaste hoeveelheden, waarbij telkens aan het einde van een bepaalde vaste hoeveelheid (bijv. bij een elektronische transportband-weegschaal) een impuls wordt opgewekt, levert hierdoor een digitale integrale waarde op. Daartoe worden o.a. meetmotoren met omloopsnelheden, die evenredig zijn aan de meetwaarden gebruikt.

Bij digitale bewerkingen – zowel methoden als apparaten - wordt het binaire telsysteem toegepast (binair talstelsel, zie blz. 22), en wel worden de basisberekeningen, optellen, aftrekken complementeren, inverteren uitgevoerd. Hogere berekeningen worden rekenkundig gemaakt, d.w.z. men herleidt ze tot deze basisberekeningen. Voor het voorstellen van binaire bewerkingen gebruikt men de Boole-algebra* met de beide waarden O en L voor de variabele grootheden (vgl. blz. 62). De vereiste verbindingen geschieden elektronisch m.b.v. „logische schakelingen" (EN-, OF-, NIET-schakelingen, inverter, flip-flop enz.). De tussenresultaten van deze bewerkingen worden in een register geregistreerd (vgl. blz. 84).

Samenvattend blijken bij de digitale methode de volgende voordelen:

1. De numerieke voorstelling is eenduidig en direct als getal mogelijk.
2. Het registreren van meetwaarden kan met relatief eenvoudige middelen geschieden. De opslagtijd is onbegrensd; er treedt geen vermindering van de nauwkeurigheid op. De opgeslagen gegevens kunnen zeer snel en onbegrensd vaak van het register worden afgenomen.
3. Door het logische verband tussen de meetwaarden ontstaan geleidingsgrootheden voor automatische procesbesturing (verdere verwerking van gegevens).
4. In zeer korte tijd kunnen zeer vele ogenblikkelijke waarden worden verkregen en verder verwerkt. Uit deze ogenblikkelijke waarden kunnen op willekeurige momenten gemiddelde waarden worden bepaald.
5. Een overdracht van de meetwaarden over grote afstand is zonder verlies aan nauwkeurigheid mogelijk.

---

* Boole, Engels wiskundige, grondlegger van de „schakelalgebra" ook wel logica-algebra genoemd. De Boole-algebra werkt met slechts twee grootheden: goed of fout (resp. geleidend of niet-geleidend, gesloten of open enz.).

Voor het overige is de vraag: „analoog of digitaal?" (of beide!) eigenlijk slechts dan te beantwoorden, wanneer de speciale, aan de metingen te stellen eisen bekend zijn, dus: indicatie, registratie, telecommunicatie, opslaan van gegevens, besturing, regeling, berekening van nieuwe geleidingsgrootheden voor processen enz.

HOOFDSTUK 4

TALSTELSELS

Tot voor enkele jaren was slechts het tientallig stelsel algemeen bekend*. andere talstelsel hadden nauwelijks een praktische betekenis. zij werden enkel en alleen gebruikt bij de zuivere wiskunde. De moderne gegevensverwerking heeft echter een ander talstelsel nodig. dat beter overeenkomt met de eigenschappen van de elektronica. Er is een talstelsel nodig, dat de beide toestanden „positief" en „negatief" resp. „ingeschakeld" en „uitgeschakeld" als basis voor de voorstelling van elk willekeurig getal kan gebruiken.

De algemene schrijfwijze van een talstelsel is $Z = a \cdot B^n$. In de tabel van fig. 11 worden vier verschillende talstelsels toegelicht: het decadische of tientallig stelsel, het binair of tweetallig stelsel, het tertiair of drietallig stelsel en, om te laten zien dat deze reeks van stelsels principieel verder kan worden ontwikkeld, het zestallig stelsel.

Enige uitgewerkte voorbeelden dienen als toelichting. De voorstelling van een getal m.b.v. de tiende-macht-reeks ziet er als volgt uit:

het getal $7154 = 7 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10^2 + 5 \cdot 10^1 + 4 \cdot 10^0$

$7000 + 100 + 50 + 4 = 7154$

De elementen van de reeks zijn eenheden, tientallen, honderdtallen, duizendtallen enz.

In het tweetallig stelsel wordt een getal als volgt voorgesteld:

het getal $45 = 1 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$

$32 + 0 + 8 + 4 + 0 + 1 = 45$

De plaatswaarden van de elementen van deze reeks zijn: 32-16-8-4-2-1. In tegenstelling tot de tiende macht bestaan er hier eenheden, tweetallen, viertallen, achttallen enz.

---

* Het tientallig stelsel is een speciaal geval ($B = 10$) van alle mogelijke talstelsels. Sedert Leibniz is ook het tweetallig stelsel in de wiskunde bekend geworden.

In het drietallig stelsel een getal:

het getal 65 = $2 \cdot 3^3 + 1 \cdot 3^2 + 0 \cdot 3^1 + 2 \cdot 3^0$
$54 + 9 + 0 + 2 = 65$

In het zestallig stelsel hetzelfde getal, dat in het tientallig stelsel werd voorgesteld:

het getal 7154 = $5 \cdot 6^4 + 3 \cdot 6^3 + 0 \cdot 6^2 + 4 \cdot 6^1 + 2 \cdot 6^0$
$6480 + 648 + 0 + 24 + 2 = 7154$

In alle gevallen geven de coëfficiënten a van de elementen van de reeks de cijfers van het door deze reeks voor te stellen getal.

a = 1 en 0 → 45 ≙ 101101 (resp. LOLLOL) in het tweetallig stelsel.
a = 1,2 en 0 → 65 ≙ 2102 in het drietallig stelsel
a = 1 . . . 6 → 7154 ≙ 53042 in het zestallig stelsel

Talstelsels

tientallig stelsel	B=10	$a_{6\ldots1}$	reeks $a \cdot 10^0 + a \cdot 10^1 + a \cdot 10^2 + a \cdot 10^3$ etc.
tweetallig stelsel	B=2	$a_{6\ldots1}$	reeks $a \cdot 2^0 + a \cdot 2^1 + a \cdot 2^2 + a \cdot 2^3$ etc.
drietallig stelsel	B=3	$a_{6\ldots2}$	reeks $a \cdot 3^0 + a \cdot 3^1 + a \cdot 3^2 + a \cdot 3^3$ etc.
zestallig stelsel	B=6	$a_{6\ldots5}$	reeks $a \cdot 6^0 + a \cdot 6^1 + a \cdot 6^2 + a \cdot 6^3$ etc.

Fig. 11. Verschillende talstelsels. Voor digitale systemen zijn slechts het tweetallig en het tientallig stelsel van betekenis.

Voor een duaal getal Z geldt dus:

$$Z = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} a \cdot 2^n; \quad a = 1 \text{ en } 0$$

Samenvattend kan men zeggen:
Een decimaal getal wordt met de cijfers 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 en 0 geschreven.

Voorbeeld: 7 5 8 9 3 2
1 0 7 8 4 3 5

Een duaal getal wordt slechts met de twee cijfers 1 en 0 geschreven.

Voorbeeld: 1 0 1 0 1 1
1 0 1 0 0 0 1

Om in het tientallig stelsel getallen tot 999 voor te stellen heeft men 30 elementen (3 getallen maal 10 cijfers) (dus 30 bits, zie blz. 28) nodig. In het tweetallig stelsel zijn het daarentegen slechts 10 elementen (dus 10 bits).

Zo luidt de duale voorstelling van het decimale getal 999:
Getal 999 =

$$1\cdot2^9 + 1\cdot2^8 + 1\cdot2^7 + 1\cdot2^6 + 1\cdot2^5 + 0\cdot2^4 + 0\cdot2^3 + 1\cdot2^2 + 1\cdot2^1 + 1\cdot2^0$$
$$\text{L} \quad \text{L} \quad \text{L} \quad \text{L} \quad \text{L} \quad \text{O} \quad \text{O} \quad \text{L} \quad \text{L} \quad \text{L}$$

Dat zijn in totaal 10 cijfers, voor de overdracht waarvan 10 bits noodzakelijk zijn.

In de gebruikelijke schrijfwijze van het tweetallig stelsel zet men in plaats van de 1 een „L" (L = geleidend). Het duale talstelsel is uitermate geschikt voor de elektronische overdracht resp. verwerking van informatie, omdat bijv. door de twee mogelijke toestanden van een bistabiele multivibrator (flip-flop), geleidend (L) en niet geleidend (O), ieder willekeurig getal kan worden voorgesteld. Onderstaand volgen nog enige andere duale getallen (getallen, waarvan de waarden van de cijfers hele machten van 2 zijn).

$$8 \triangleq \text{L}\cdot2^3 + 0\cdot2^2 + 0\cdot2^1 + 0\cdot2^0 \triangleq \text{LOOO}$$
$$16 \triangleq \text{LOOOO}$$
$$20 \triangleq \text{L}\cdot2^4 + 0\cdot2^3 + \text{L}\cdot2^2 + 0\cdot2^1 + 0\cdot2^0 \triangleq \text{LOLOO}$$
$$34 \triangleq \text{LOOOLO}$$
$$105 \triangleq \text{LLOLOOL}$$

Omgekeerd kan een binair getal gemakkelijk in een decimaal getal worden omgezet:

$$\text{LO} \triangleq \text{L}\cdot2^1 + 0\cdot2^0 = 2 + 0 = 2$$
$$\text{LOL} \triangleq \text{L}\cdot2^2 + 0\cdot2^1 + \text{L}\cdot2^0 = 4 + 0 + 1 = 5$$
$$\text{LOLOLOL} = \text{L}\cdot2^6 + 0\cdot2^5 + \text{L}\cdot2^4 + 0\cdot2^3 + \text{L}\cdot2^2 + 0\cdot2^1 + \text{L}\cdot2^0 =$$
$$= 64 + 0 + 16 + 0 + 4 + 0 + 1 = 85$$

Een binair systeem resp. een binaire code wordt samengesteld uit binaire code-elementen – dus uit L en O –, die als binaire tekens resp. binaire cijfers worden aangeduid. Een duaal getal is een speciaal geval van de vele mogelijkheden, om binaire getallen voor te stellen. Het duale systeem (duale code) gebruikt binaire tekens, alleen is de waarde van de cijfers van het duale getal door hele machten van 2 vastgelegd. Vaak wordt de duale code ook „zuivere binaire code" genoemd.

Het woord „binair" zegt echter nog niets omtrent het gebruik van de beide cijfers L en O, die ook voor andere (dus niet duale) voorstellingen kunnen worden gebruikt.

Aan de hand van enkele voorbeelden wordt het verband tussen duale en

decimale getallen verduidelijkt. Allereerst dient te worden uiteengezet, hoe men te werk moet gaan om een decimaal getal in een duaal getal om te zetten.

Allereerst moet gevonden worden, hoe groot n van 2^n dient te zijn, opdat het decimale getal, bijv. 109, wordt verkregen. De hoogste tweede macht van de tweede-macht-reeks is in dit geval $2^6 = 64$. Daar a slechts 0 of 1 kan zijn, mag dus het getal 64 slechts eenmaal in het getal 109 opgaan; is dit niet het geval, dan dient de reeks met een verdere macht te worden verhoogd.

$$
\begin{array}{rl}
 & 109 : 64 = 1 \rightarrow 2^6 = \text{L} \\
- & 64 \\
 & 45 : 32 = 1 \rightarrow 2^5 = \text{L} \\
- & 32 \\
 & 13 : 16 = 0 \rightarrow 2^4 = \text{O} \\
 & 13 : \ 8 = 1 \rightarrow 2^3 = \text{L} \\
- & \ 8 \\
 & \ 5 : \ 4 = 1 \rightarrow 2^2 = \text{L} \\
- & \ 4 \\
 & \ 1 : \ 2 = 0 \rightarrow 2^1 = \text{O} \\
 & \ 1 : \ 1 = 1 \rightarrow 2^0 = \text{L}
\end{array}
$$

Decimaal 109 $\triangleq$ LLOLLOL duaal.

Omgekeerd kan een duaal getal snel in een decimaal worden omgezet. Hiervan een voorbeeld. Gegeven is het duale getal LOLLO. Het betreft hier in totaal 5 tweede machten, waarvan de hoogste $2^4 = 16$ is. Daardoor wordt:

$$\text{LOLLO} \triangleq 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = 22$$

Regels voor het rekenen met duale getallen:

Optelling:
1. O + O = O
2. O + L = L
3. L + O = L
4. L + L = O met overdracht van een L naar de hogere macht.

Voorbeeld: LOLLO + LOLLOL = 22 + 45 = 67

De duale getallen worden onder elkaar geschreven en per cijfer opgeteld.

```
    LOLLO
+   LOLLOL
-----------
  LOOOOLL = 67
```

Voor een beter begrip wordt deze optelling nog eens met de waarden van de afzonderlijke duale getallen uitgevoerd.

```
    LOLLO ≙    16 0 4 2 0
+   LOLLOL ≙ 32 0 8 4 0 1
-------------------------
  64  0  0 0 0 2 1 = 64 + 2 + 1 = 67
```

Vermenigvuldiging* van twee duale getallen:

1. O·O = O
2. O·L = O
3. L·O = O
4. L·L = L

Hiervan een voorbeeld: LOL·LLO = 5·6 = 30

Schrijfwijze als bij het decimale stelsel:

```
LOL·LLO
   OOO
  LOL
 LOL
-----
LLLLO = 30
```

---

* Een vermenigvuldiging kan als een doorlopende optelling worden uitgevoerd. Hiervan een voorbeeld.

$a \cdot b = 7824 \cdot 542 = 4240608$

```
   7824  }
+  7824  } 2 → eenheden van b
+  7824  }
+  7824  }
+  7824  } 4 → tientallen van b
+  7824  }
+  7824  }
+  7824  }
+  7824  } 5 → honderdtallen van b
+  7824  }
+  7824  }
---------
4240608
```

Regels voor het aftrekken van twee duale getallen:

1. O − O = O
2. O − L = L (van het volgende hogere cijfer moet een bit worden geleend)
3. L − O = L
4. L − L = O

De gevallen 1 tot 3 kunnen door „OF-schakelingen" worden uitgevoerd. Voor het vierde geval is een „EN-NIET-schakeling" noodzakelijk (zie blz. 71).
Tenslotte nog enkele eenvoudige aftrekkingen:

a. 1 − 0 = L − O = L ≙ 1

b. 7 − 4 ≙ OLLL − OLOO

```
  OLLL
− OLOO
-------
  OOLL ≙ 3
```

c. 9 − 5 ≙ LOOL − OLOL

```
  LOOL
− OLOL
-------
  OLOO ≙ 4
```

Het aftrekken en delen geschiedt op doelmatige wijze met het complement van het decimale getal en wel is het dan een optelling van de getallen. Het complement van een driecijferig decimaal getal is het verschil met 1000. Hiervan een voorbeeld: het complement van het getal 582 is 1000 − 582 = 418. De rekenbewerking 732 − 582 wordt dan 732 + (1000 − 582) − 1000 = 732 + 418 − 1000 = 1150 − 1000 = 150. Met behulp van het negen-complement kan een teller eenvoudige aftrekkingen $a - b = c$ uitvoeren. Van het eerste getelde getal a wordt het negen-complement gevormd: $9 - a$. Dan wordt het tweede getal b geteld (opgeteld) en dan weer het complement gevormd: $(9 - a) + b = 9 - (a - b) = 9 - c$. Het complement van een duaal getal is dus $x - y = x + (2^n - y) - 2^n$.

Het aantal stappen wordt, zoals reeds op blz. 23 werd uiteengezet, in „bit" aangegeven. Onder een stap verstaat men de wisseling tussen twee mogelijke toestanden, bijv. de overgang positief naar negatief, geleidend – niet geleidend enz. Het woord bit komt uit het Engels „binary digit". Deze eenheid wordt gebruikt om de capaciteit van een informatiegeheugen, de

berichtenstroom, de overdrachtsmogelijkheid van een kanaal enz. aan te geven.

Zo worden om enkele voorbeelden te noemen voor de overdracht van getallen tot 999 volgens het tientallig stelsel 30 bits (10 bits voor 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 en 9, en dat driemaal) en voor getallen tot $2^{10} - 1$ volgens het tweetallig stelsel 10 bits (telkens 1 bit voor de trappen 2^0, 2^1, 2^2, 2^3, 2^4, 2^5, 2^6, 2^7, 2^8, 2^9 = 10 trappen) gebruikt (zie blz. 23). Een geheugen, dat uit vier matrices met $12 \times 13 = 156$ ringkernen bestaat (zie blz. 23) neemt 12 dertiencijferige decimale getallen op. Gecodeerd wordt in groepen van vier. De capaciteit van dit geheugen bedraagt $4 \times 156 = 624$ bits.

Het op blz. 131 beschreven digitale telecommunicatiesysteem BTR 604 maakt de cyclische overdracht van 156 binaire signalen, dus van 156 bits, mogelijk. Deze zijn in 12 groepen van elk 13 bits onderverdeeld.

HOOFDSTUK 5

DIGITALE TELLERS

Metingen volgens het analoge systeem leveren in het algemeen een kwalitatieve waarde, daarentegen heeft het digitale systeem betrekking op de kwantiteit, die door tellers wordt verkregen. Een teller geeft het aantal trillingen en impulsen aan, die door een gestuurde poortschakeling worden doorgelaten. Het oplossend vermogen van de teller wordt door het aantal decaden bepaald. Principieel moet een teller een zo hoog mogelijke telsnelheid hebben. Ook moet een voorinstelling op een bepaalde telwaarde mogelijk zijn (fig. 12 en 13). Bij het bereiken van een eindwaarde moet de teller terugschakelen en daarbij een overdrachtsimpuls leveren, die onder bepaalde omstandigheden een ander achter de teller geschakeld telwerk stuurt.

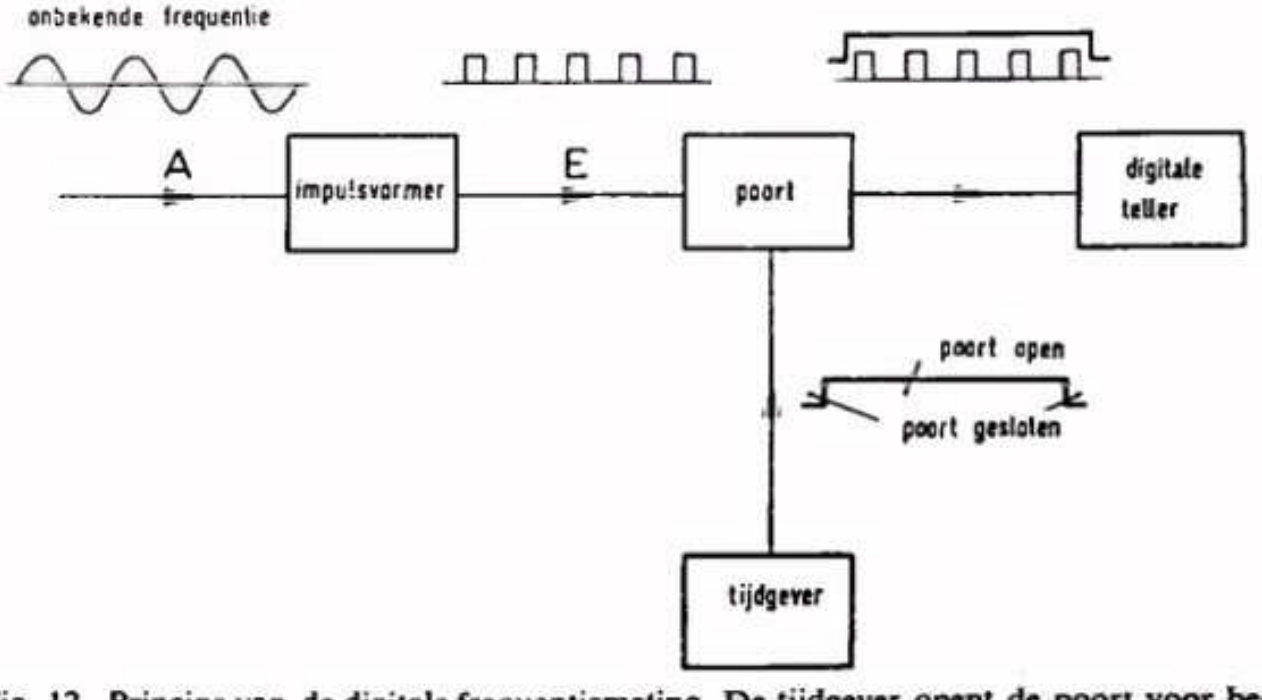


Fig. 12. Principe van de digitale frequentiemeting. De tijdgever opent de poort voor bepaalde tijd (telduur). Tijdens deze gedefinieerde tijd passeren door de poort de impulsen van de te bepalen frequentie. De telling geschiedt met de digitale teller.

Het meetbereik van een teller is te veranderen, doordat men de poortimpuls voor de poortschakeling verschillend lang maakt. Daarmee verandert het tijdsinterval (de duur van de poortimpuls) voor het tellen van de impulsen. Meestal worden digitale tellers zodanig geconstrueerd, dat zij voor verschillende metingen bruikbaar zijn. Zij worden gebruikt voor frequentie- en impulsmetingen, voor periodenduur- en tijdmetingen.

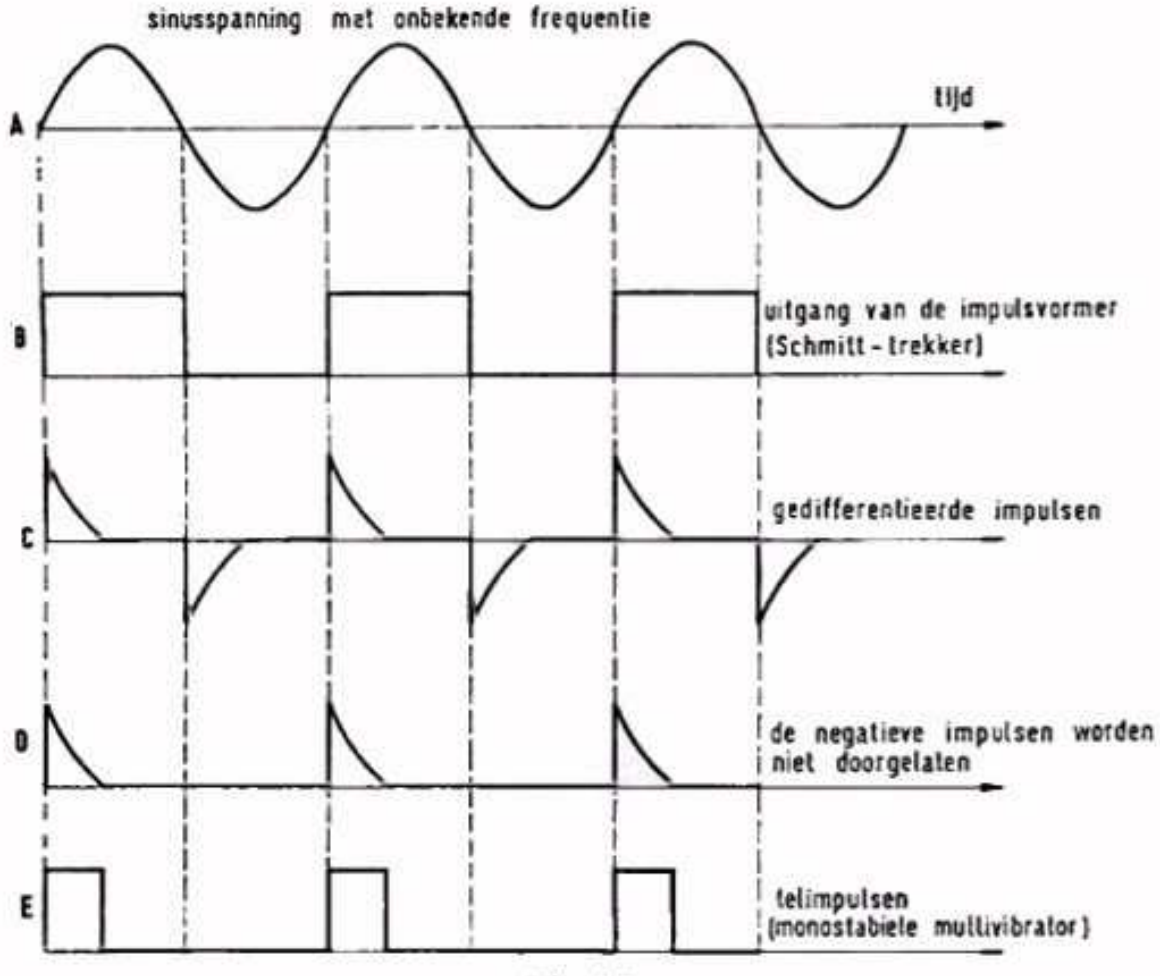


Fig. 13

A = sinusspanning met onbekende frequentie
B = een impulsvormer maakt uit de sinusspanning een rechthoekspanning
C = de rechthoekspanning wordt gedifferentieerd en
D = daarna gelijkgericht
E = met een monostabiele multivibrator worden tenslotte de telimpulsen gevormd.

Bij frequentiemetingen worden de trillingen van de onbekende frequentie gedurende een bepaalde meettijd geteld. Een kwarts-gestuurde oscillator met een grote stabiliteit wordt daarbij als tijdbasis gekozen. Volgens deze methode kunnen grensfrequenties van ca. 50 MHz worden bereikt. Hogere

waarden vereisen speciale inrichtingen en methoden. Moeten daarentegen relatief lage frequenties worden verkregen (lager dan 10 kHz) dan worden de functies van meet- en standaardfrequentie (kwartsoscillator) onderling verwisseld (fig. 14). In dit geval wordt de periodeduur van de onbekende frequentie gemeten. Volgens dit meetprincipe kunnen bijv. de toerentallen van langzaam lopende machines zeer nauwkeurig worden bepaald. Bij de tijdmeting opent zich dus de poort voor de duur van een periode van de onbekende frequentie. De impulsen van de kwarts-oscillator doorlopen de poortschakeling en komen bij de digitale telinrichting. De numerieke indicatie kan direct in microseconden, milliseconden enz. geschieden.

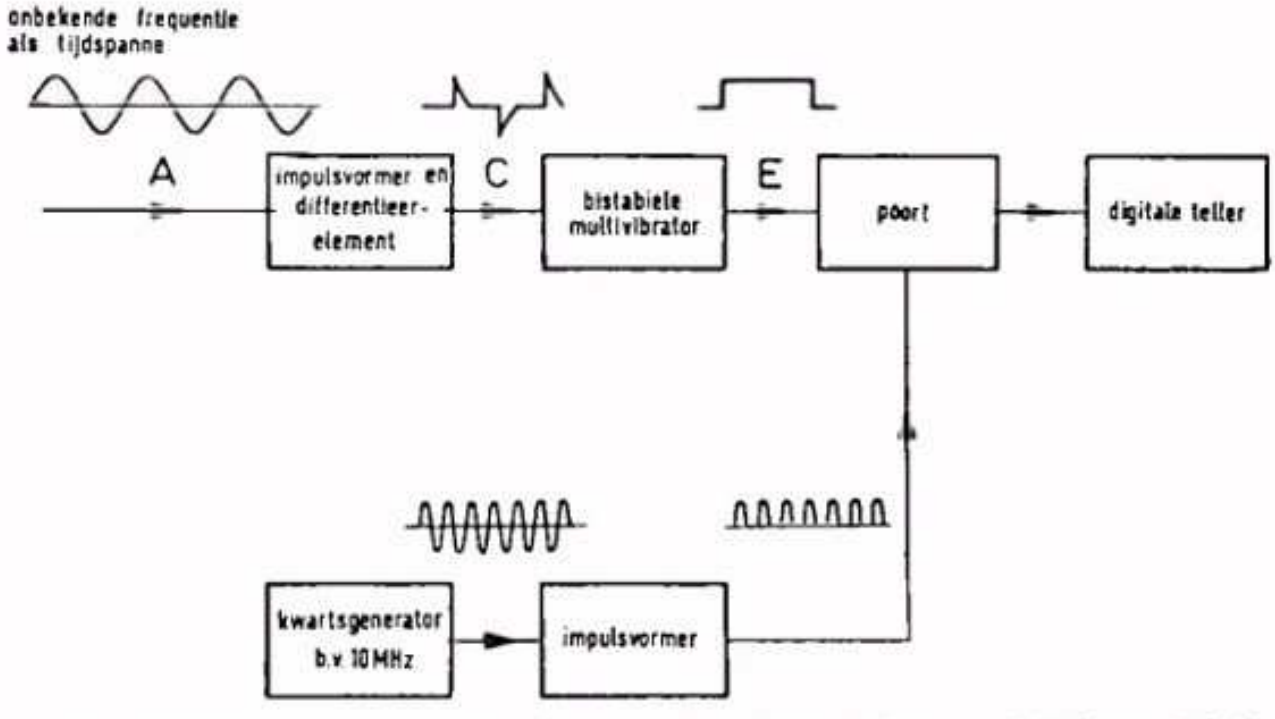


Fig. 14. In tegenstelling tot de schakeling van fig. 12 wordt de poort bij deze schakeling door de onbekende frequentie geopend. Daar de impulsen van de kwartsgenerator bekend zijn, kan dus aan de digitale teller de openingstijd van de poortschakeling en daardoor de periodeduur van de onbekende frequentie worden vastgesteld.

Fig. 15 toont een gecombineerde frequentie-tijd-teller. De te tellen impulsen komen in de impulsvormer, waarin zij een gedefinieerde vorm krijgen (bijv. door een amplitudebegrenzing), bovendien sturen zij hier een Schmitttrekker, die aanspreekt, wanneer het ingangssignaal een bepaald spanningsniveau overschrijdt. Deze niveauschakeling is beslist noodzakelijk, hiermee wordt vermeden, dat bijv. ruisspanningen telimpulsen leveren.

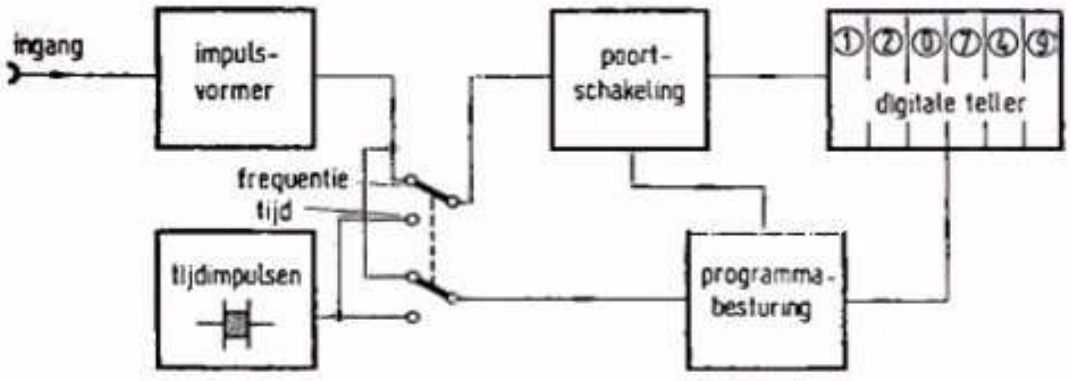


Fig. 15. Blokschakeling van een impuls-(frequentie-)teller, die ook als tijdmeter kan werken. Combinatie van de schakelingen volgens fig. 12 en 13.

Via de poortschakeling, die afhankelijk van het ingestelde programma meer of minder lang is geopend, komen deze impulsen bij de digitale teller en verschijnen daar als indicatie. In fig. 16 is een bekend telcriterium weergegeven, dat uit de aanwezigheid van een ingangsniveau blijkt. Een gemoduleerde impulsreeks wordt niet meer foutloos geteld, wanneer zich enkele impulsen onder het trekkerniveau bevinden.

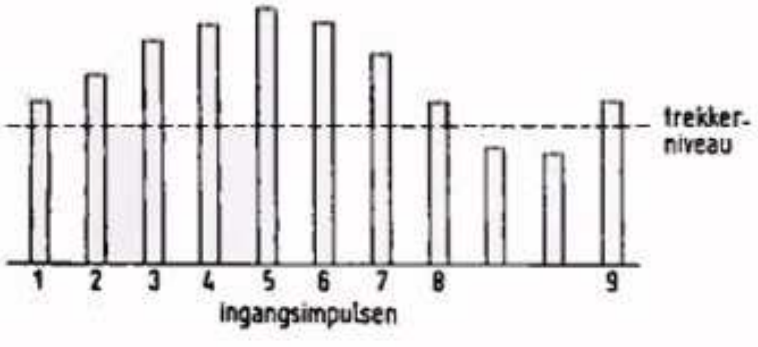


Fig. 16. Impulsen, waarvan de spanning onder het trekkerniveau ligt, worden niet geteld.

Is op een impuls een stoor-wisselspanning gesuperponeerd, dan treden bij metingen van de impulsduur fouten op, wanneer een trilling van de stoorspanning (amplitude) eerder het niveau bereikt dan de impuls zelf.

Een ander telcriterium toont fig. 17. In dit geval betreft het een poortschakeling. Slechts wanneer de start- en stopimpulsen voor de poortschakeling niet toevallig met de ingangsimpulsen samenvallen, wordt juist geteld. In het geval *A* lopen zes impulsen, die ook worden weergegeven, door de poort. In het geval *B* daarentegen is het niet duidelijk, of 3, 4 of 5 impulsen worden geteld. De poortfout is intussen bij moderne digitale tellers tot

$\pm$ 1 teleenheid beperkt. Een andere fout kan door frequentiedrift van de standaardgenerator ontstaan; in dat geval ondergaat óf de duur van de poortimpuls een verandering, óf het aantal telimpulsen is niet juist. Maar ook deze fouten zijn bij kwarts-gestuurde standaardgeneratoren met thermostaten relatief klein; zo blijkt bij tellers van de middenklasse een afwijking van $\pm$ 3 teleenheden per 10^7 per week, dit komt overeen met een fout van $\pm$ 0,0003 $^0/_{00}$. Overigens moet men bij digitale telschakelingen een onderscheid maken tussen het oplossend vermogen en de foutengrens. Het oplossend vermogen geeft aan, welke kleinste tijds- resp. impulsintervallen nog kunnen worden geregistreerd.

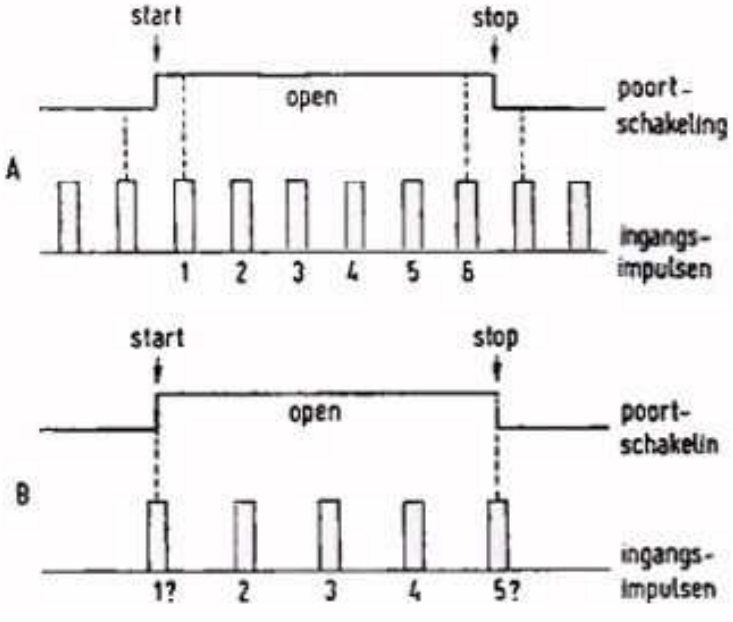


Fig. 17. Impulsen, waarvan het optreden in de tijd met het openen en sluiten van de poortschakeling samenvalt, geven meetfouten in de telling.

De foutengrens geeft de onnauwkeurigheid van de telling zelf aan. Hiervan een voorbeeld. Een elektriciteitsteller heeft een digitaal decadische indicatie. Aangenomen, de indicatie strekt zich over vijf decaden uit en de aangegeven waarde bedraagt 5763,8 kW·h, dan zijn de vijf decaden een maat voor het oplossend vermogen. Daar echter de relatieve meetfout 2% bedraagt* (eveneens aangenomen) ligt de juiste waarde binnen de grenzen 5763,8 $\pm$ 13 kW·h. Het meetwerk van de teller levert een analoog meetsignaal, dat wordt gekwantiseerd en daarna numeriek weergegeven.

* Relatieve fout $= 100 \cdot \dfrac{\text{aangegeven waarde} - \text{werkelijke waarde}}{\text{werkelijke waarde}}$.

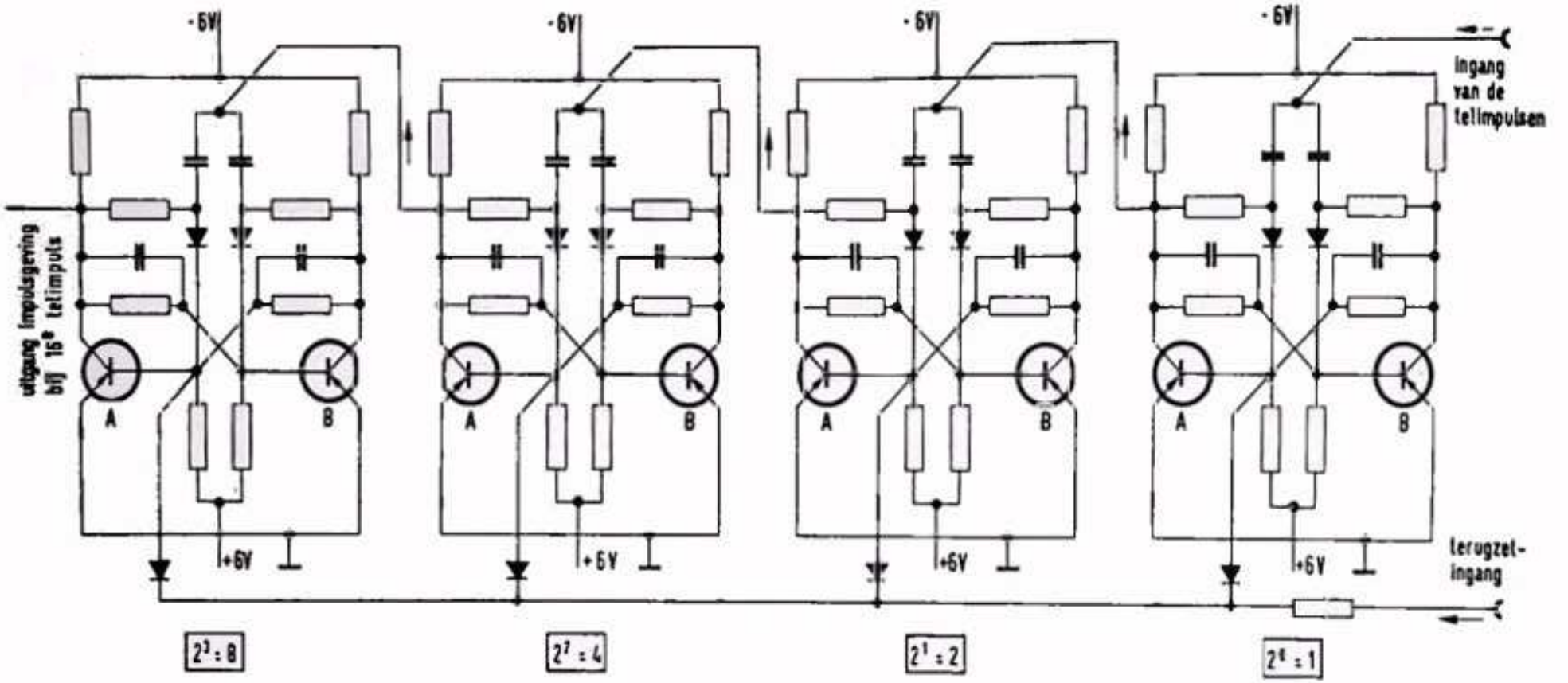


Fig. 18. Binaire telschakeling, bestaande uit vier bistabiele multivibratoren (flip-flops). Met deze schakeling kunnen tot $2^4 - 1 = 15$ impulsen worden geteld; de 16e impuls wordt voor het besturen van een andere telschakeling gebruikt resp. deze brengt de schakeling weer in de uitgangspositie.

Iets dergelijks doet zich voor bij de nog te behandelen analoog-digitaal-omzettingen. De meetopnemers leveren analoge signalen, die eventueel nog versterkt, aan de analoog-digitaal-omzetter worden toegevoerd. Het oplossend vermogen – d.w.z. de kwantisering – wordt daarbij door het aantal decaden bepaald; de totale meetfout is echter in de eerste plaats van de meetfout van de opnemer, de versterker enz. afhankelijk. Ook geschiedt de omzetting zelf niet geheel foutloos.

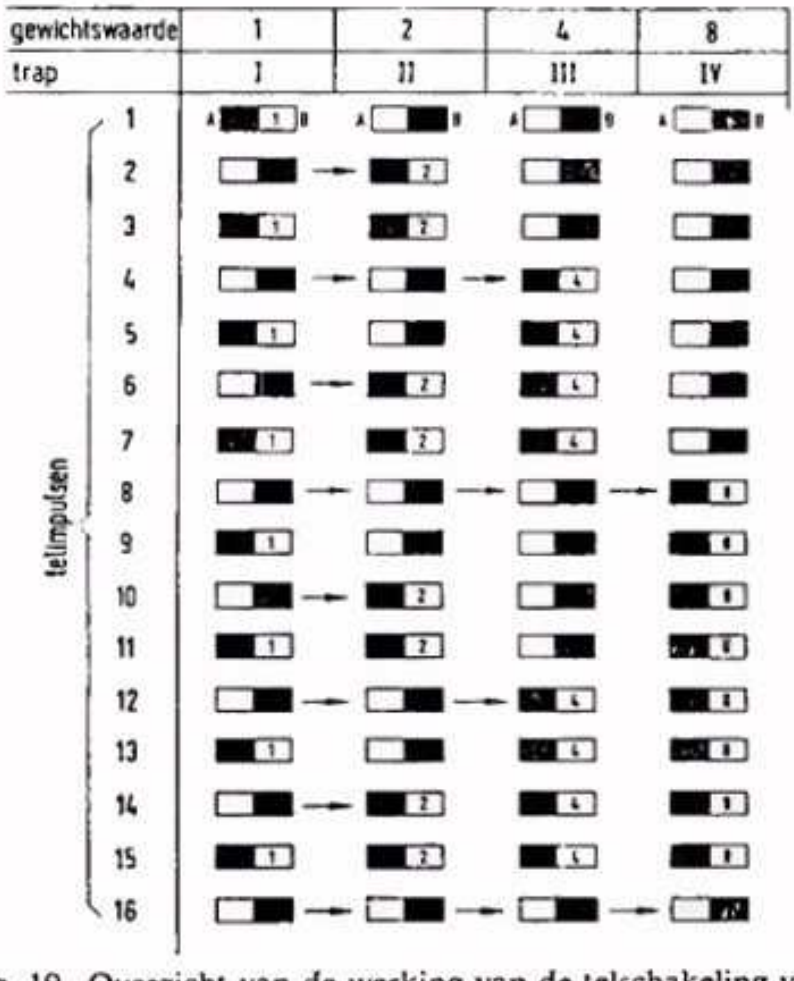


Fig. 19. Overzicht van de werking van de telschakeling volgens fig. 18.

Met in totaal vier bistabiele multivibratoren in serie kan een elektronische telschakeling worden opgebouwd, waarmee tot het getal 16 kan worden geteld. De telcapaciteit bedraagt 2^n. Fig. 18 toont het principeschema met 8 transistoren. Voordat met het tellen wordt begonnen wordt er voor gezorgd, dat alle teltrappen in uitgangspositie komen. De omschakeling van flip-flop-trap tot flip-flop-trap wordt telkens door de positieve flank van de ingangsimpuls (die geteld dient te worden) teweeggebracht.

De tabel in fig. 19 toont nu, hoe het tellen in wezen verloopt. Iedere telimpluls doet de eerste trap omschakelen. De eerste impuls wordt op deze wijze geregistreerd. De tweede impuls maakt, dat de eerste trap weer in de uitgangspositie terugkeert, daarbij wordt een impuls voor de volgende trap opgewekt; de tweede trap schakelt eveneens om. Daar deze trap de waardigheid $2^1 = 2$ heeft, wordt dus het getal 2 geregistreerd. Bij de achtste telimpuls zijn de trappen met de waardigheden $2^0 = 1$, $2^1 = 2$ en $2^2 = 4$ op nul gezet, slechts de vierde trap met de waardigheid $2^3 = 8$ staat op „L". Bij de 16de impuls schakelen alle vier de trappen weer in de uitgangspositie terug. Met dergelijke telschakelingen is het mogelijk, telsnelheden van enkele miljoenen impulsen per seconde te bereiken.

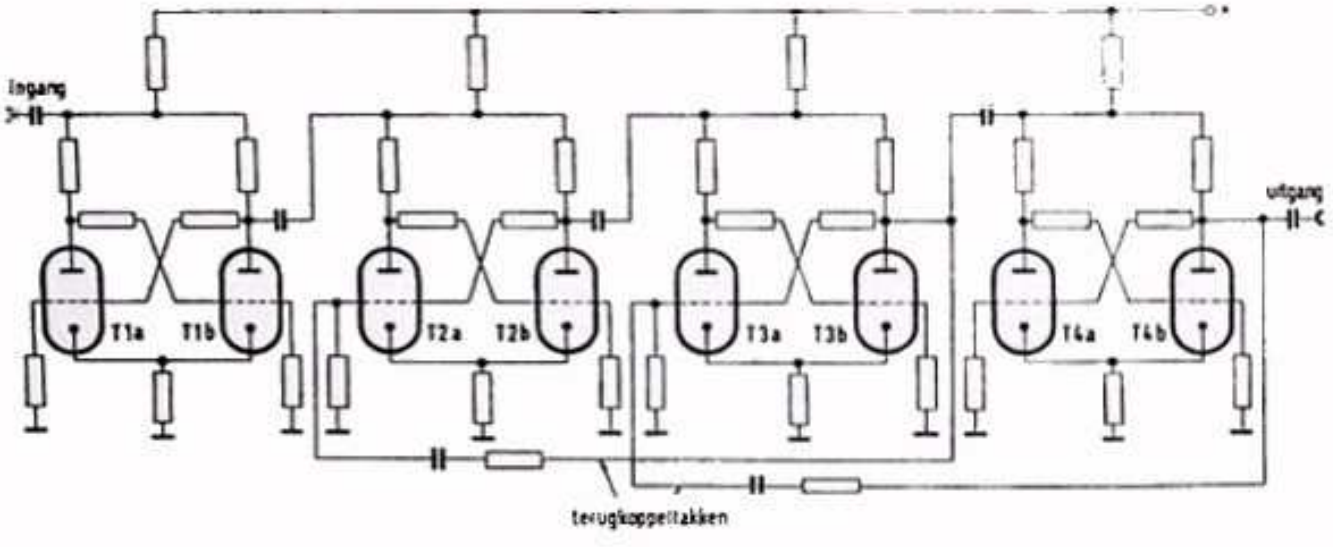


Fig. 20. Viertrapse binaire teller, die bij iedere tiende ingangsimpuls een uitgangsimpuls afgeeft.

Dat met bistabiele multivibratorschakelingen volgens fig. 18 ook decimale tellingen mogelijk zijn, laat de schakeling volgens fig. 20 zien. Deze schakeling bestaat eveneens uit vier binaire trappen, er zijn echter twee terugkoppeltakken aanwezig. Hierdoor wordt bereikt, dat na iedere tiende ingangsimpuls een uitgangsimpuls wordt afgegeven. Fig. 21 toont de werking hiervan. De kosten van deze schakeling zijn in vergelijking met zuivere decadentellers, zoals bijv. met buis E1T, relatief hoog, maar het voordeel is, dat deze schakeling zeer stabiel werkt en dat tijden van 10^{-8} s haalbaar zijn.

Langzamere mechanische tellers worden aan elektronische tellers aangesloten en verhogen daarmee het aantal decaden. De elektronische tellers werken dan als telvertragers voor de mechanische systemen. In fig. 22 is

de drijvertrap voor de aandrijving van een mechanisch telwerk weergegeven; deze schakeling is daardoor het verbindend element van de telcombinatie. De relatief eenvoudige schakeling bevat een thyratron (PL 21), dat de stroom voor de magnetische spoelen van het mechanische telwerk levert.

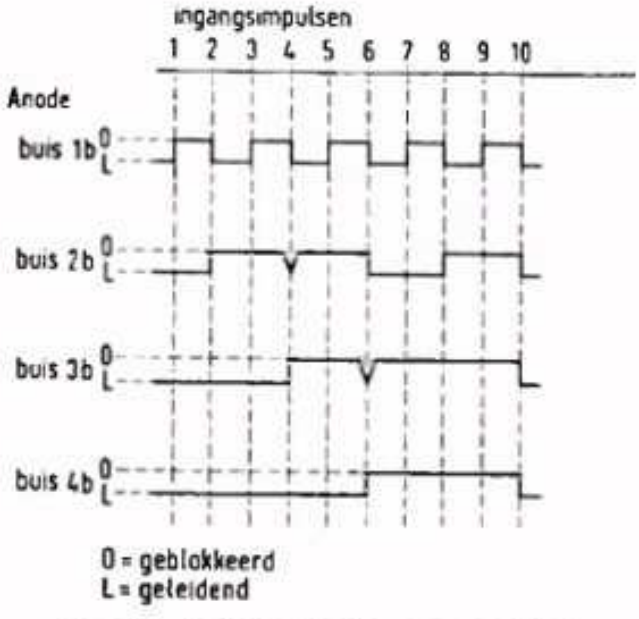


Fig. 21. Schematische voorstelling van de werking van de telschakeling volgens fig. 20.

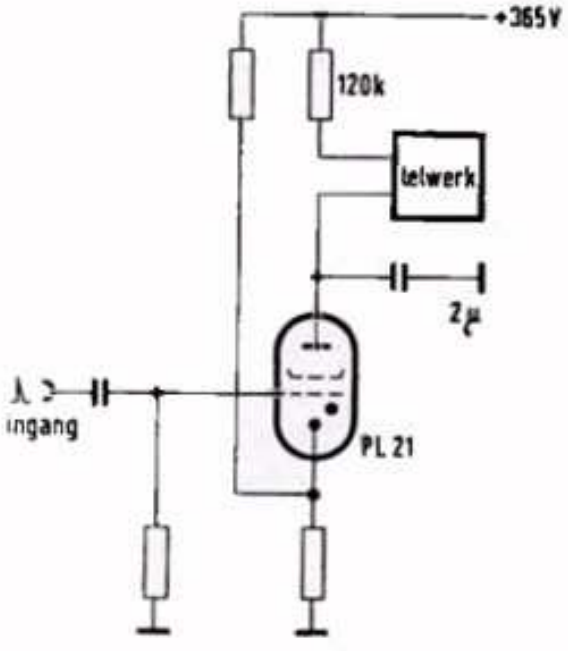


Fig. 22. Het inschakelen van het mechanische telwerk met de thyratron PL 21.

Men onderscheidt de eenvoudige impulstelling (vooruit-telling) van de incrementele methode, die een teller vereist, waarmee vooruit- en achteruitgeteld kan worden. Hiervan enkele voorbeelden uit de praktijk. Wanneer de deeltjes van een alpha-straling geteld moeten worden, heeft men met een eenvoudige impulstelschakeling te maken. Voor een digitale toerentalbepaling (vgl. blz. 95) levert een inductieve of fotoëlektrische opnemer de impulsen, die of door trekker-staafjes op de as, door de tanden van een tandwiel of door zwart-wit-markeringen worden opgewekt. De draairichting van de as speelt bij deze telling geen rol. Geheel anders liggen de zaken echter bij een numerieke indicatie aan gereedschapmachines zoals trouwens bij alle automatische machinebesturingen.

De positie van een bewogen machinedeel dient lopend te worden weergegeven en wel in beide richtingen, zowel vooruit als achteruit. Vanuit een

vrij te kiezen referentiepunt wordt eerst vooruit geteld. Beweegt zich dan echter het werkstuk of het gereedschap in de tegenovergestelde richting, dan wordt afgetrokken van de bereikte waarde van de vooruit-telling. Dus van de impulsopnemer wordt bovendien nog een informatie omtrent de draairichting verlangd (incrementele impulsopnemer). De teller moet een vooruit-achteruit-teller zijn. De impulsverwekkende markeringen zijn daarbij eenvoudige streepmarkeringen, die soms microscopisch fijn verdeeld zijn. Deze markeringen kan men echter ook coderen, bijv. duaal (vgl. blz. 39). In dit geval spreekt men van een „absoluut systeem", omdat iedere positie door een vaste code-combinatie is vastgelegd. In tegenstelling tot het relatieve, incrementele systeem ligt het referentiepunt van de telling absoluut vast. De incrementele methode is minder veeleisend en daarom ook goedkoper; het nadeel ligt hier echter in de grote stoorgevoeligheid. Treedt een stoorimpuls op, dan veroorzaakt deze een telfout, die in alle verdere trappen wordt verwerkt. Deze fout zou alleen automatisch kunnen worden gecompenseerd, doordat er een andere stoorimpuls toevallig optreedt, dit keer echter in de omgekeerde telrichting. Ook de incrementele telinstallaties kunnen echter voor een groot gedeelte storingsvrij worden gemaakt.

Een hiervoor veel toegepaste methode wordt als „synchrone logica" aangeduid. De omschakelingen in de teller geschieden daarbij door de impulsen van een klokimpulssturing. De binnenkomende telimpulsen bereiden de omschakeling enkel en alleen voor. Het omschakelen zelf geschiedt slechts dan, wanneer de telimpuls exact samenvalt met de klokimpuls.

De in de tussentijden onder bepaalde omstandigheden optredende stoorimpulsen, waarbij deze coïncidentie niet aanwezig is, hebben dus geen uitwerking. De klokimpulsen zijn slechts van korte duur, bijv. 0,5 µs. Verschijnt nu de klokimpuls om de 50 µs, dan bestaat er een tijdverhouding van 50 : 0,5 = 100. Deze verhouding 1 : 100 duidt dus de geringe mogelijkheid aan, waarmee een stoorimpuls kan optreden. Op blz. 116 staat hiervan een voorbeeld uit de praktijk.

HOOFDSTUK 6

CODERING

Onder codering verstaat men het coderen van een signaal, bijv. van een meetwaarde; er ontstaat een „bericht". In de informatietheorie is een bericht een gecodeerd gebeuren; en de hoeveelheid van alle elementen, waaruit de zender berichten kan combineren, vormt de code. Men kan echter ook zeggen: coderen betekent een getal in een bepaald talstelsel voorstellen. En het begrip van het bericht wordt het duidelijkst, wanneer men uitgaat van de meettechniek. Een bericht is daarbij het verkrijgen van grootheden of van schakeltoestanden. En van een informatie spreekt men vaak wanneer men binnen een bericht een deel bedoelt, dat voor de ontvanger onbekend is.

Om een bericht in een binair systeem over te dragen, voor welk systeem 32 cijfers beschikbaar zijn, dus met vijf duale trappen, zijn ld 32 = 5 bits nodig, d.w.z., er zijn vijf stappen noodzakelijk. Daarbij is ld de logaritme van het duale talstelsel (logaritme met de basis 2). De duale logaritme van 32 is 5, van 16 is 4 van 8 is 3, omdat $2^3 = 8$, $2^4 = 16$ en $2^5 = 32$. Een willekeurige duale logaritme ld kan m.b.v. de decadische logaritmen worden berekend. Hierbij geldt: $10^{\log x} = 2^{\mathrm{ld}\, x}$. Wordt nu van beide kanten van deze vergelijking de decadische logaritme genomen, dan ontstaat:

$$\log (2^{\mathrm{ld}\, x}) = \log (10^{\log x})$$

Hieruit ontstaat weer: $\log 2 \cdot \mathrm{ld}\, x = \log 10 \cdot \log x$. En tenslotte kan worden geschreven, omdat log 2 en log 10 bekend zijn:

$$\mathrm{ld}\, x = \frac{\log x}{\log 2} = \frac{\log x}{0{,}3010} = 3{,}32 \cdot \log x$$

Bestaat een elementen-voorraad (tekenvoorraad) EV uit 32 tekens, dan luidt de formule: aantal benodigde bits = ld EV = ld 32 = 5; er zijn n bits nodig om 2^n = EV over te dragen. Men kan ook zeggen: de berichthoeveelheid M komt overeen met de duale logaritme van de elementenvoorraad EV, die vaak als s wordt aangegeven.

$$M = \mathrm{ld}\, s$$

Zoals reeds op blz. 27 werd toegelicht, is de eenheid van de berichthoeveelheid 1 bit. Zo heeft een eencijferig duaal getal (zie blz. 22) een bit. De tien cijfers van het tientallig stelsel hebben een berichtinhoud van ld 10 = 3,3 bit.

De codering is dus niet alleen aan het duale systeem gebonden. Er zijn ook decimale, decimaal-duaal en andere coderingen mogelijk.

Een eenvoudige telcode is het kiessysteem met de kiesschijf van de telefoon. Worden drie impulsen overgezonden, dan komt dit overeen met het cijfer drie. Bij zeven impulsen is het het cijfer zeven, enz. Zijn echter aan de ontvanger van de informatie het begin en het einde van de telling medegedeeld (bijv. door de impulsen of de frequentie van een impulsgenerator), dan behoeven niet alle zeven impulsen voor het cijfer zeven te worden overgedragen, dan is een enkele impuls voldoende. Het betreft hier dan een „1 uit 10-code".

Voor de codering van decimale posities zijn reeds vier binaire posities voldoende (tetradische code). Voor het overige zijn voor de overdracht van drie decimale posities in het zuivere duale systeem heel veel binaire posities nodig. Zo luidt de overeenkomstige duale code-waarde voor het getal 999: LLLLOOLLL (zie blz. 24). Men ziet dus, dat de duale voorstelling niet minder dan 10 posities nodig heeft. Grote decimale getallen zijn als duale getallen onoverzichtelijk en omvangrijk. Het is echter ook mogelijk, zoals in het begin reeds gezegd, een getal in groepen van vier (tetraden) voor te stellen. Hiervan een voorbeeld: het decimale getal 493 ziet er als duaal getal als volgt uit: LLLLOLLOL. Wordt dit getal echter in groepen van vier verdeeld, (met drie groepen van vier: de eerste voor 4, de tweede voor 9, de derde voor 3), die achtereenvolgens dienen te worden overgedragen, dan wordt 4 — 9 — 3 = OLOO — LOOL — OOLL. Het betreft hier een gecombineerd decadisch-duaal systeem. Het werkt in de tetraden met de binaire trappen van het tweetallig stelsel $2^0 = 1$, $2^1 = 2$, $2^2 = 4$ en $2^3 = 8$, alsmede de 10- en 100-voudige waarden van deze trappen. De decimale gewichtswaarde blijft behouden, alleen binnen decimale posities wordt duaal gerekend.

1	10	100
2	20	200
4	40	400
8	80	800
4 +	4 +	4 = 12 bits

Voor de overdracht van getallen tot 999 zijn dus 12 bits nodig. De tetradische code neemt van het decimale stelsel de verdeling in decaden over, is echter binnen de afzonderlijke decaden duaal getrapt. (BCD-code = binary coded decimals.)

Een ander voorbeeld is de overdracht van het decimale getal 987.654.321 in duaal gecodeerde tetraden.

Het decimale getal									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	= 987654321
8 4 2 1	....	....	....	....	....	....	....	8 4 2 1	gewichtswaarden van de tetraden
LOOL	LOOO	OLLL	OLLO	OLOL	OLOO	OOLL	OOLO	OOOL	duale getallen van de tetraden
1e overdracht op 4 leidingen								9e overdracht op 4 leidingen	

De overdracht van de tetraden geschiedt na elkaar op vier leidingen: allereerst de overdracht van de tetrade voor $9 \cdot 10^8$; als laatste voor $1 \cdot 10^0$. Dit is de enige parallel-serie-overdracht, waarbij voor iedere tetrade vier bits worden gebruikt. In de praktijk geschiedt de overdracht echter met meer bits, bijv. met zeven (bijv. bij de „zeven-bit-alfanumerieke code"). Het vijfde bit is daarbij een controle-bit; het zesde en zevende bit hebben speciale functies (overdracht van letters en speciale tekens).

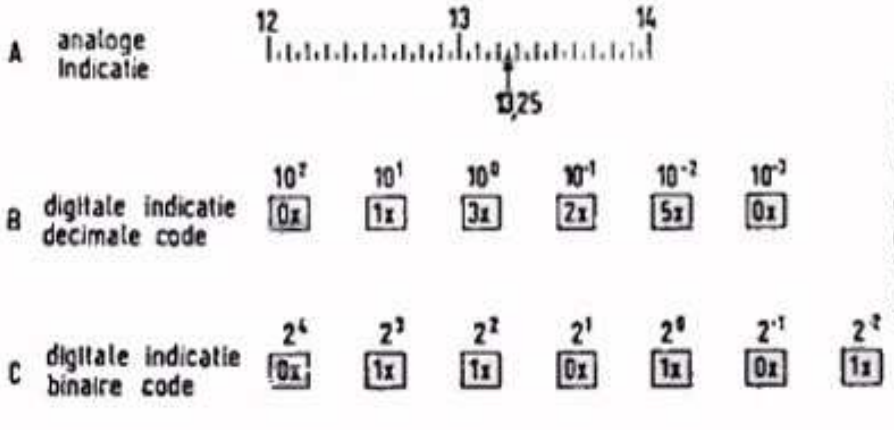


Fig. 23. De analoge indicatie van de meetwaarde 13,25 wordt *B* in een decimale code en *C* in een binaire code (juister duale code) omgezet. Voor *B* zijn 6 bits en voor *C* in totaal 7 bits nodig.

Als zuiver duaal getal zouden de tetraden-duale getallen van dit voorbeeld overeenkomen met het decimale getal 40.926.276.145. Voor rekenkundige verwerking is deze voorstelling echter niet erg doelmatig, bijv. wanneer men een negen-complement nodig heeft.

Kleine elektronische rekenmachines werken volgens het decimale stelsel, omdat dit eenvoudiger is of er wordt een binair gecodeerd decimaal systeem zoals het tetradische gebruikt. In dit geval kan de gecompliceerde omzetting van het decimale in het binaire systeem en omgekeerd worden vermeden.

Grotere machines voor uitgebreide wetenschappelijke en technische berekeningen werken daarentegen in de regel volgens speciale coderingssystemen. Daarvoor bestaat een groot aantal coderingsmogelijkheden. Welke van deze mogelijkheden het best aan het gestelde doel beantwoordt, hangt af van het feit, hoe wordt geteld, opgeslagen, omgezet of overgedragen – om enkele van de belangrijke voorwaarden te noemen. Uiterst belangrijk is bij deze keuze ook, dat het ontstaan van foutieve waarden vanzelf dient te worden uitgesloten. Men heeft speciale beveiligingscodes ontwikkeld om dit te bereiken. Weliswaar is het praktisch onmogelijk een code absoluut beveiligd te maken, men moet zich echter beperken tot de beveiliging tegen de belangrijkste en de meest voorkomende fouten. In principe zijn digitale bewerkingen foutloos; een herhaling van de bewerking levert exact hetzelfde resultaat op. Code-woorden, die uit een aaneenschakeling van impulsen bestaan, zijn voor amplitudeveranderingen, d.w.z. voor demping of vervorming vrij ongevoelig, de informatie-inhoud van het codewoord blijft bestaan. Door het uitvallen van bouwelementen of door het insluipen van vreemde impulsen kunnen echter desondanks fouten ontstaan, die dan in iedere orde van grootte liggen.

Hiervan een voorbeeld: Overgedragen dient te worden het duale getal:

$$\text{LOLOLL} \triangleq 32 + 0 + 8 + 0 + 2 + 1 = 43$$

Een toevallige stoorimpuls zet nu voor de tweede trap eveneens een L, dan wordt het:

$$\text{LLLOLL} \triangleq 32 + 16 + 8 + 0 + 2 + 1 = 59$$

Of in de vierde trap wordt een L in de plaats gezet:

$$\text{LOLLLL} \triangleq 32 + 0 + 8 + 4 + 2 + 1 = 47$$

Voor tellers, die slechts in voorwaartse richting worden bedreven, kunnen verschillende coderingsmethoden worden toegepast, om m.b.v. een tetrade, dus volgens het duale telsysteem, op het decadische telsysteem over te gaan. In het eenvoudigste geval wordt aan elke binaire trap een decimaal cijfer

toegevoegd. Dan zijn er echter voor de getallen van 0 tot 9 niet minder dan 10 van dergelijke trappen nodig.

Wordt echter een terugvoering uitgevoerd, zoals de schakeling in fig. 20 laat zien, dan is een tetrade voldoende en de codering komt bijv. overeen met de Aiken-code, zoals deze op blz. 48 wordt toegelicht. De Aiken-code (H.H. Aiken; in 1939 werd volgens zijn plannen aan de Harvard University de eerste programma-gestuurde grote rekenmachine gebouwd) heeft de gewichtswaarde 2421 (de duale voorstelling heeft zoals bekend 8421).

duaal getal $= 2^n$

n =	1	2	3	4	5	6	7	
zuiver binair getal =	2	4	8	16	32	64	128	

n =	8	9	10	11	12	13	14	
zuiver binair getal =	256	512	1024	2048	4096	8192	16384	

n =	15	16	17	18	19	20	
zuiver binair getal =	32768	65536	131072	262144	524288	1048576	

Fig. 24. Opstelling van alle duale getallen tot 2^{20}.

Deze code heeft weliswaar een' ander' nadeel: het nulwoord bestaat uit vier nullen en het eenwoord uit vier enen. Beide kunnen door storingen in de leiding worden verwisseld. Om ook deze nadelen te vermijden werd de „plus-drie-code" ontwikkeld. Daarover in het onderstaande meer.

In de praktijk worden dus voor het overdragen van berichten bijv. van meetwaarden, meestal meer binaire stappen gekozen dan voor de overdracht van de zuivere informatie-inhoud nodig zijn. De „redundantie" geeft nu aan, welk overschot aan informatie-inhoud voor de overdracht van het bericht aanwezig is. Zo worden zoals reeds werd toegelicht, bij een tetradische

code niet alle mogelijke combinaties gebruikt, daar slechts tot en met het getal 10 wordt geteld. Er is dus een overschot aan informatiemiddelen aanwezig, die men, zoals de volgende voorbeelden laten zien, als volgt kan berekenen:

$$R = \text{ld } 32 - \text{ld } 8 = 5 - 3 = 2 \text{ bit}$$
$$R = \text{ld } 8 - \text{ld } 4 = 3 - 2 = 1 \text{ bit}$$

en bij een tetrade:

$$R = \text{ld } 16 - \text{ld } 10 = 4 - 3{,}32 = 0{,}68 \text{ bit.}$$

De rendundantie geeft de verhouding aan tussen de mogelijke binaire combinaties en de werkelijk benutte. Alle logaritmisch gedefinieerde grootheden zoals informatie-inhoud en redundantie hebben het bit als maateenheid, wanneer de twee als basis wordt genomen.

Een technisch systeem is derhalve dan redundant, wanneer het meer bouwelementen bevat, dan minimaal noodzakelijk zijn om een bepaalde functie te vervullen. Redundantie en efficiency staan in zeker opzicht tegenover elkaar. Met behulp van deze redundante tekens kan een berichtensysteem storingvrij worden gemaakt. Er worden aan de binaire code redundante controle-stappen toegevoegd, die weliswaar het telegram verlengen, maar daarvoor geheel automatisch een toevallig ingeslopen fout identificeerbaar maken. Juist daarin ligt een van de vele voordelen van een digitaal overdrachtssysteem t.o.v. de overige gebruikelijke analoge systemen, waarbij een fout in het meetsignaal niet zonder meer is te identificeren.

Om een fout te ontdekken, bijv. de omkering van een binair teken — L i.p.v. O of omgekeerd – herhaalt men het bericht (of op dezelfde wijze of in geïnverteerde vorm). Deze methode is zeer eenvoudig; weliswaar wordt daarbij de capaciteit van de berichtenverbinding tot de helft gereduceerd. Iets gecompliceerder wordt het, wanneer speciale beveiligingscodes worden gebruikt. Van deze codes bestaan zeer eenvoudige en ook heel geraffineerd doordachte systemen. Hoe groter de storingsmogelijkheden zijn, met des te meer zorg moet de juiste keuze van de beveiligingscodes worden gedaan. Iedere code-combinatie kan zodanig worden opgesteld, dat door het toevoegen van een of meer elementen een gelijkmatigheid van structuur ontstaat, die terstond aantoont, of een storing aanwezig is. In hoeverre het codewoord door toevoegingen aangevuld dient te worden, hangt af van de vraag, met wat voor een storingsgevoeligheid gerekend dient te worden.

In een codegroep kan een overschot of een tekort van een impuls worden

vastgesteld. Bevat een groep niet het voorgeschreven aantal impulsen, dan wordt de overdracht gestopt en de meetwaarde nog eens nagegaan. Pas wanneer het juiste aantal impulsen aanwezig is, gaat de bewerking verder. Bij de „twee-uit-vijf-code" wordt de foutloze overdracht gecontroleerd, doordat men op de aanwezigheid van twee bits (en niet meer dan twee) per trap let. Natuurlijk is ook een omkering mogelijk, waarbij de controle de aanwezigheid van telkens drie impulsen betreft.

0 — OLLOO
1 — LLOOO
2 — LOLOO
3 — LOOLO
4 — OLOLO
5 — OOLLO
6 — LOOOL
7 — OLOOL
8 — OOLOL
9 — OOOLL

Ieder codewoord bestaat uit vijf L-O-stappen, waarbij telkens twee L-stappen en drie O-stappen optreden.

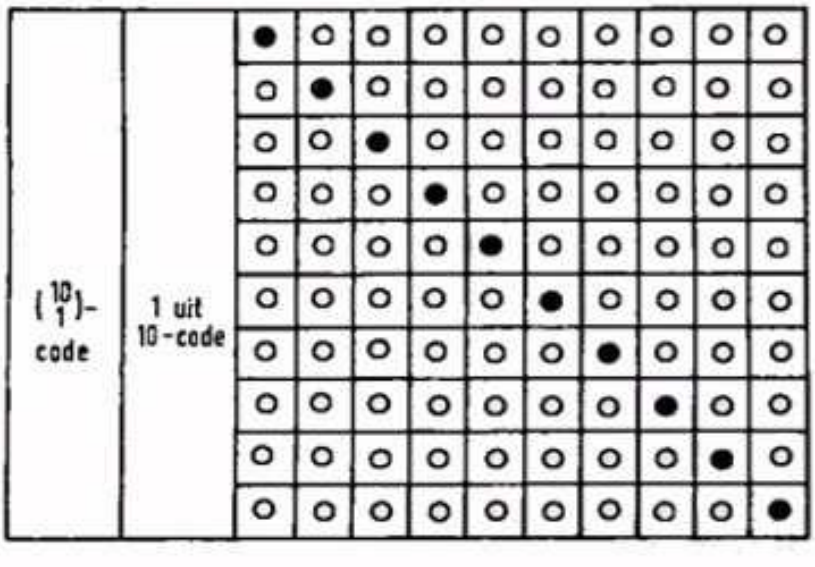


Fig. 25. De „1 uit 10-code".

Van de 32 mogelijke combinaties, die een code met vijf stappen biedt, worden er dus slechts tien voor de overdracht van de informatie gebruikt. De rest dient voor de zelfbeveiliging van de code en voor andere doeleinden.

Bij de keuze uit de vele mogelijkheden van de combinatie kan men voor

de code verschillende voorwaarden stellen; want aan deze vijftien combinaties uit L en O worden dus slechts tien decimale getallen toegevoegd, derhalve ontstaan er zeer vele mogelijkheden. Bij de keuze van de verschillende mogelijkheden zou men uit kunnen gaan van enkele voorwaarden:

a. Het complementaire getal dient door verwisseling van L en O te worden bereikt. Dit dient als volgt te worden toegelicht (zie ook blz. 27). Het complementaire getal van 2 is 7, want $9 - 2 = 7$.

Onder een complementair getal verstaat men in dit geval de aanvullig tot 9. Geeft men dus, om een voorbeeld te noemen, het decimale getal 2 de binaircombinatie OLOL, dan krijgt het decimale getal 7 de combinatie LOLO. Zijn volgens dit systeem de eerste vijf getallen vastgelegd, dan blijken de combinaties voor de andere vijf vanzelf.

b. De grootste van twee decimale getallen dient ook het grootste duale getal te krijgen. Hiermee wordt een systeem verkregen, waarmee het totale systeem een symmetrische opbouw krijgt. Zo wordt door deze voorwaarde bereikt, dat de eerste vijf getallen alle in de hoogste trap (2^3) een O en de overige vijf een L hebben.

c. Dit alles dient zo te geschieden, dat de eerste vijf getallen ook in de binaire voorstelling door opeenvolgende duale getallen zijn voor te stellen.

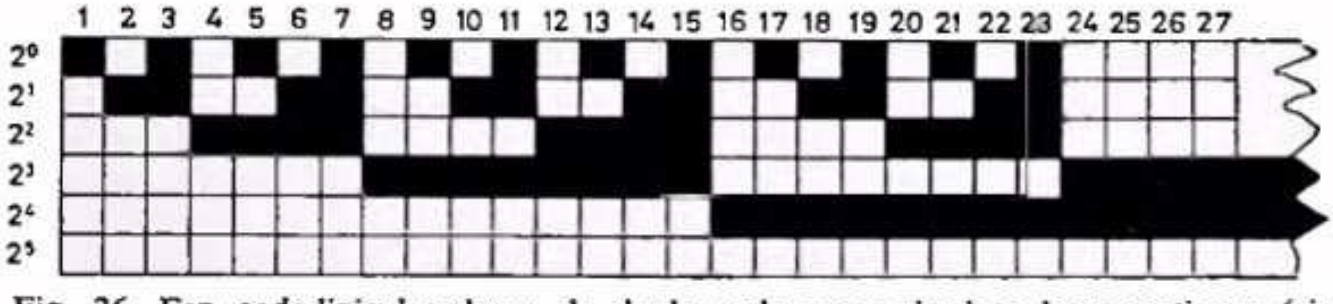


Fig. 26. Een code-liniaal volgens de duale code voor absolute lengtemetingen (zie blz. 38).

De reeds genoemde Aiken-code geeft hiervoor een oplossing. In de opstelling in fig. 28 is dit duidelijk gemaakt. De decimale getallen 0, 1, 2, 3 en 4 worden door de overeenkomstige binaire combinaties voorgesteld. Het complementaire getal van 3 is 6. Het codewoord van 3 luidt OOLL. Het complementaire getal is dan LLOO, overeenkomend met het getal 6.

Een andere mogelijkheid wordt in de plus-drie-code toegepast. Hierbij is ieder duaal getal drie groter dan het overeenkomstige decimale getal. Dit biedt het voordeel, dat voor de voorstelling van de nul in de binairvoorstelling de combinatie OOLL wordt gebruikt, d.w.z. de overdracht

van de nul geschiedt niet door O-impulsen, zoals bij de Aiken-code (zie ook fig. 29). Zowel bij de Aiken-code als bij de plus-drie-code blijkt de som van twee symmetrische getalbegrippen steeds negen te zijn. Beide codes zijn t.o.v. het negencomplement symmetrisch.

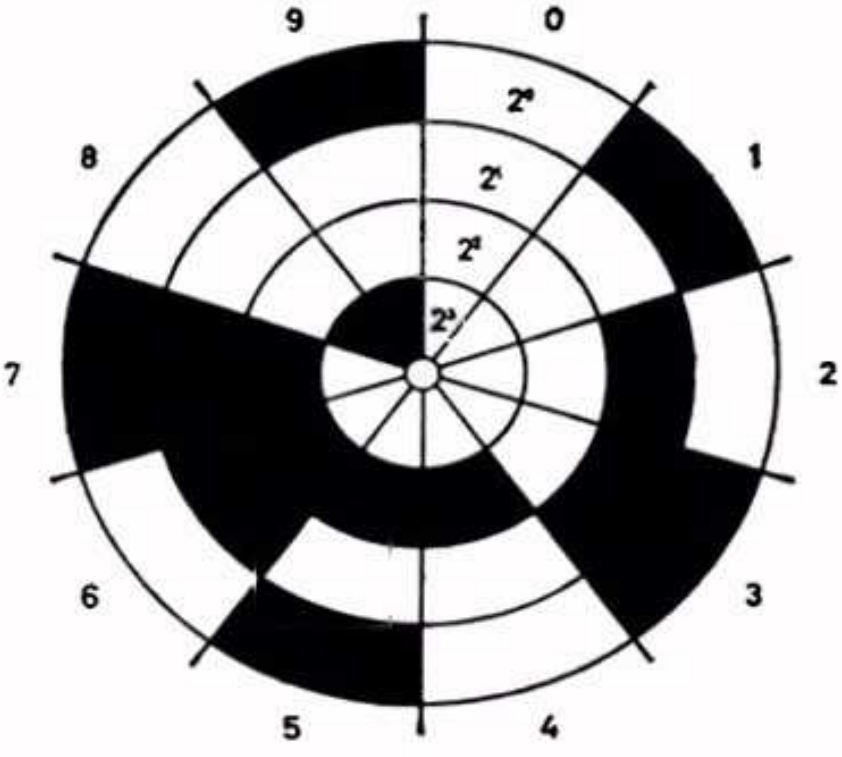


Fig. 27. Principe van een code-schijf (zie ook fig. 37). Duale code voor absolute hoekmetingen.

Bij een tetradische code is onder bepaalde omstandigheden ook de plaatswaarde van groot belang. Deze is bij de duale code 8-4-2-1. Bij de Aiken-code is dit anders en wel 2-4-2-1. De plus-drie-code daarentegen is niet waardeerbaar. Voor een getalvoorstelling met gewaardeerde posities bestaan de volgende regels:

1. Voor iedere hoger gewaardeerde positie mag de bijbehorende waardigheid niet meer dan één groter zijn dan de som van de voorgaande waardigheden, daar anders minstens een cijfer niet voorstelbaar is. Bij de duale code:

$$8 > 4 + 2 + 1$$
$$4 > 2 + 1$$
$$2 > 1$$

2. De som van alle waardigheden moet minstens negen bedragen, daar anders negen niet kan worden voorgesteld. Bij de Aiken-code:

$$2 + 4 + 2 + 1 = 9$$

3. De plaatswaarden dienen naar stijgende grootte te worden gerangschikt. Dit geldt slechts voor de duale code.
4. Deze plaatswaarden mogen slechts eenmaal voorkomen. Hieraan voldoet alleen de duale code.

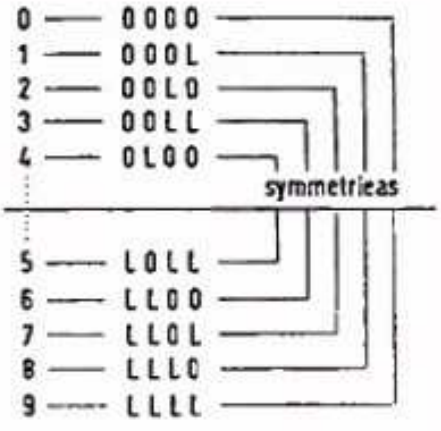


Fig. 28. De Aiken-code

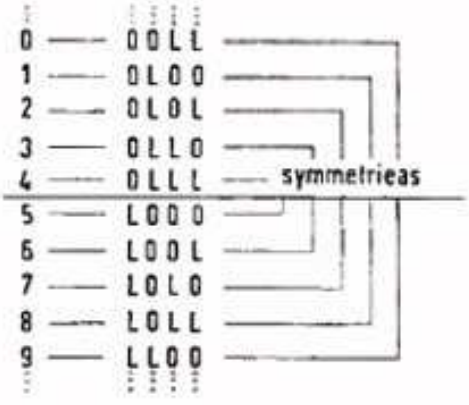


Fig. 29. De „plus-drie-code"

Een duaal gecodeerde decimale voorstelling voldoet dus aan alle vier de eisen. Ook de vaak gebruikte 1-2-2-4-code, die een snel tellen met decadische teltrappen mogelijk maakt, voldoet slechts aan de eerste twee voorwaarden.

Een verder bekende code is de Gray-code (gereflecteerde binaire code), die vooral voor het aftasten van code-linialen en code-schijven werd ontworpen. Een criterium van de duale code is bijv. de omstandigheid, dat bij een overgang naar een volgende hogere macht een sprong van O op L (of omgekeerd) bij verscheidene posities optreedt. Het beste voorbeeld hiervoor is de overgang van 15 naar 16:

$$15 \triangleq \text{OLLLL}$$
$$16 \triangleq \text{LOOOO}$$

Bij alle vijf posities treedt een verandering op. Dit nadeel wordt door de Gray-code vermeden. Bij de overgang van de ene combinatie naar de andere (hogere of lagere) verandert telkens slechts één teken. Daardoor is de onzekerheid bij de tussenstanden (tussen twee posities) gering en varieert slechts tussen de beide naburige waarden. De Gray-code is een eenstap-code met een constante toename. Deze code kan gemakkelijk in de duale code worden omgezet; voor een decimale voorstelling is hij daarentegen minder goed geschikt, daarom zijn omzettingen in codes, die rekenbewerkingen beter mogelijk maken, beslist noodzakelijk.

Dient een sterkere beveiliging tegen een foutieve overdracht te worden verkregen, dan is een tetrade voor de tien cijfers 0 . . .9 niet meer voldoende. Een hogere redundantie heeft bijv. een $\binom{5}{3}$-code met vijf binaire elementen, dus 2^5 combinatiemogelijkheden van O en L (zie blz. 44). In wiskundig opzicht betreft het bij deze code een „m uit n-code" (zie fig. 30). Er staan

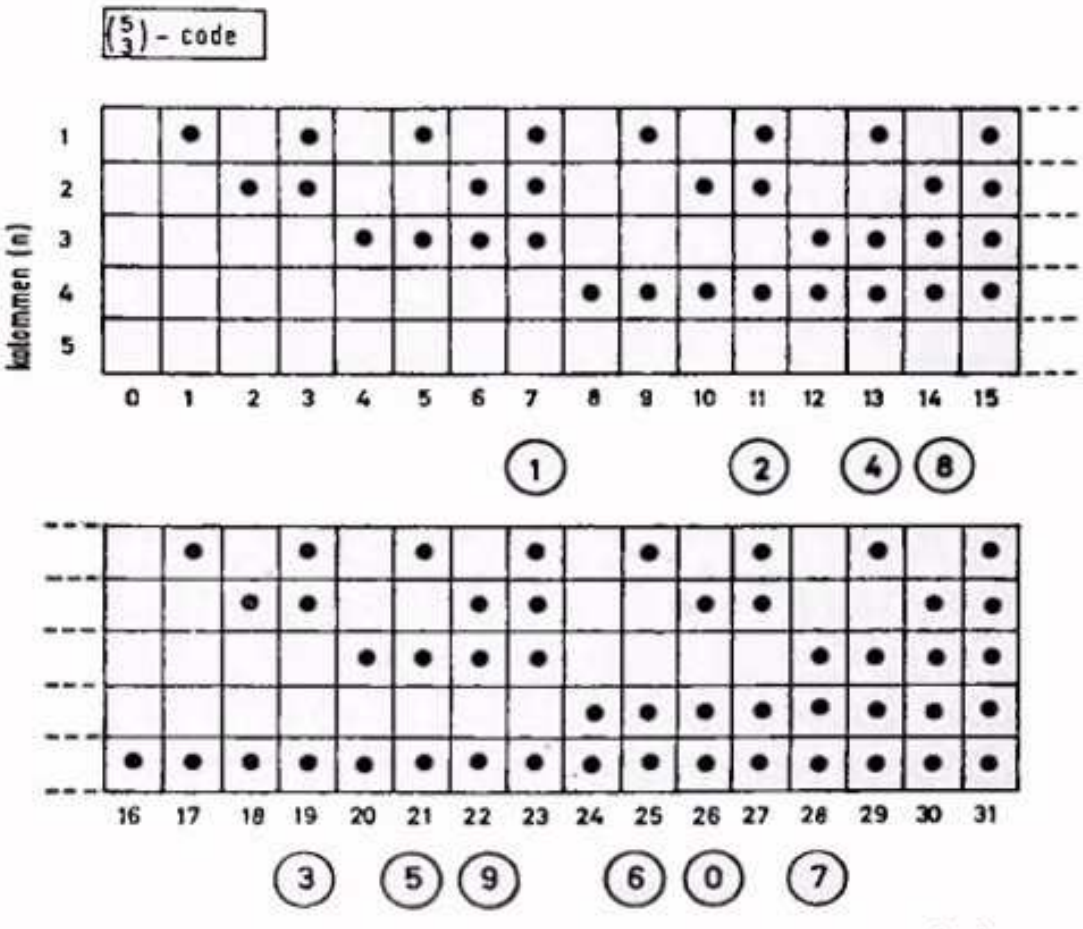


Fig. 30. De „3 uit 5-code". De aan de combinaties toegevoegde decimale cijfers staan in de cirkeltjes.

---

* Voorbeeld: $\binom{n}{m}$. Dit wiskundig bevel kan in een deling worden omgezet. Hierbij moet de noemer als faculteit worden geschreven en wordt de teller uitgerekend, die telkens zoveel met één verkleinde factoren heeft, als het onderste getal, de noemer, aangeeft. Dus:

$$\binom{n}{m} = \binom{8}{5} = \frac{8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 4}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5} = 56$$

De binominale coëfficiënten kan men in de driehoek van Pascal onderbrengen (zie fig. 31). $\binom{n}{m}$ betekent „m uit n" of „n over m" (Schrijfwijze volgens de wiskundige Leonhard Euler.)

n trappen of kolommen ter beschikking en er worden van alle mogelijke combinaties slechts diegene gekozen, die m (dus 3 bij de „3 uit 5-code") L (of ook O) hebben. Dit kunnen bijv. bij een ponsband 3 gaten zijn. De „3 uit 5-code" kan als „binominale coëfficiënt" worden geschreven, $\binom{n}{m}$ is dan $\binom{5}{3}$, derhalve een $\binom{5}{3}$-code. Er zijn 5 trappen resp. kolommen of sporen met m gaten beschikbaar.

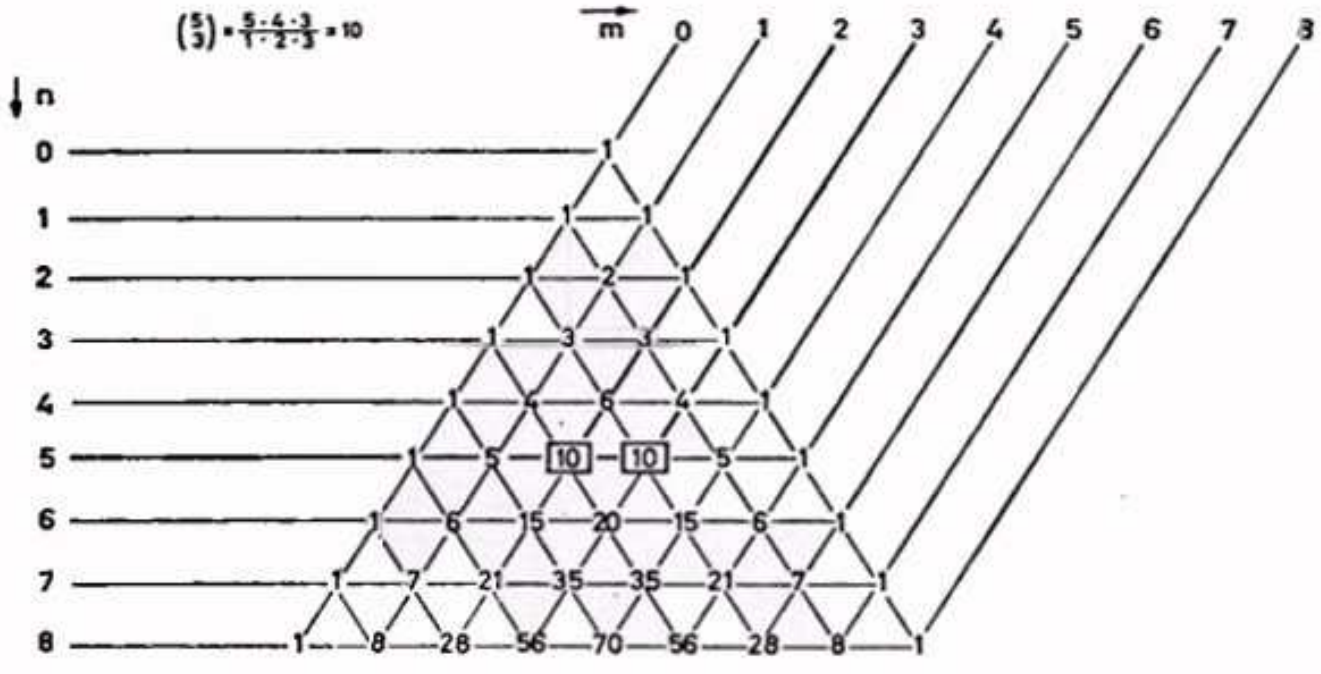


Fig. 31. De driehoek van Pascal voor het bepalen van de combinatiemogelijkheden. De „3 uit 5-code" zowel als de „2 uit 5-code" bieden ieder 10 mogelijkheden.

De berekening, hoeveel combinatiemogelijkheden, d.w.z. in het genoemde voorbeeld telkens 3 L-stappen in een combinatie van vijf, er zijn, kan volgens de driehoek van Pascal worden bepaald. (Fig. 31 laat dit voor de $\binom{5}{3}$-code zien.) Het resultaat is in fig. 32 weergegeven. De driehoek van Pascal dient verder voor de bepaling van de binominale coëfficiënt. Het vinden van de mogelijkheden geschiedt rekenkundig volgens de vergelijking

$$\binom{n}{m} = \frac{n(n-1)\cdot(n-2)\ldots(n\cdot m+1)}{1\cdot2\ldots m} \quad (\text{of ook } \frac{n!}{m!(n-m)!})$$

Voor de $\binom{5}{3}$-code volgt hieruit $\binom{5}{3} = \frac{5 \cdot 4 \cdot 3}{1 \cdot 2 \cdot 3} = \frac{60}{6} = 10$ mogelijkheden.

De $\binom{5}{2}$-code en de $\binom{5}{3}$-code zijn bijzonder geschikt voor het over lange afstand overdragen van meetwaarden (cijfer-veiligheidscode), omdat hierbij een wisseling van L en O de constante som van 2 L resp. 3 L stoort, zodat deze combinatie met relatief eenvoudige controleschakelingen kan worden

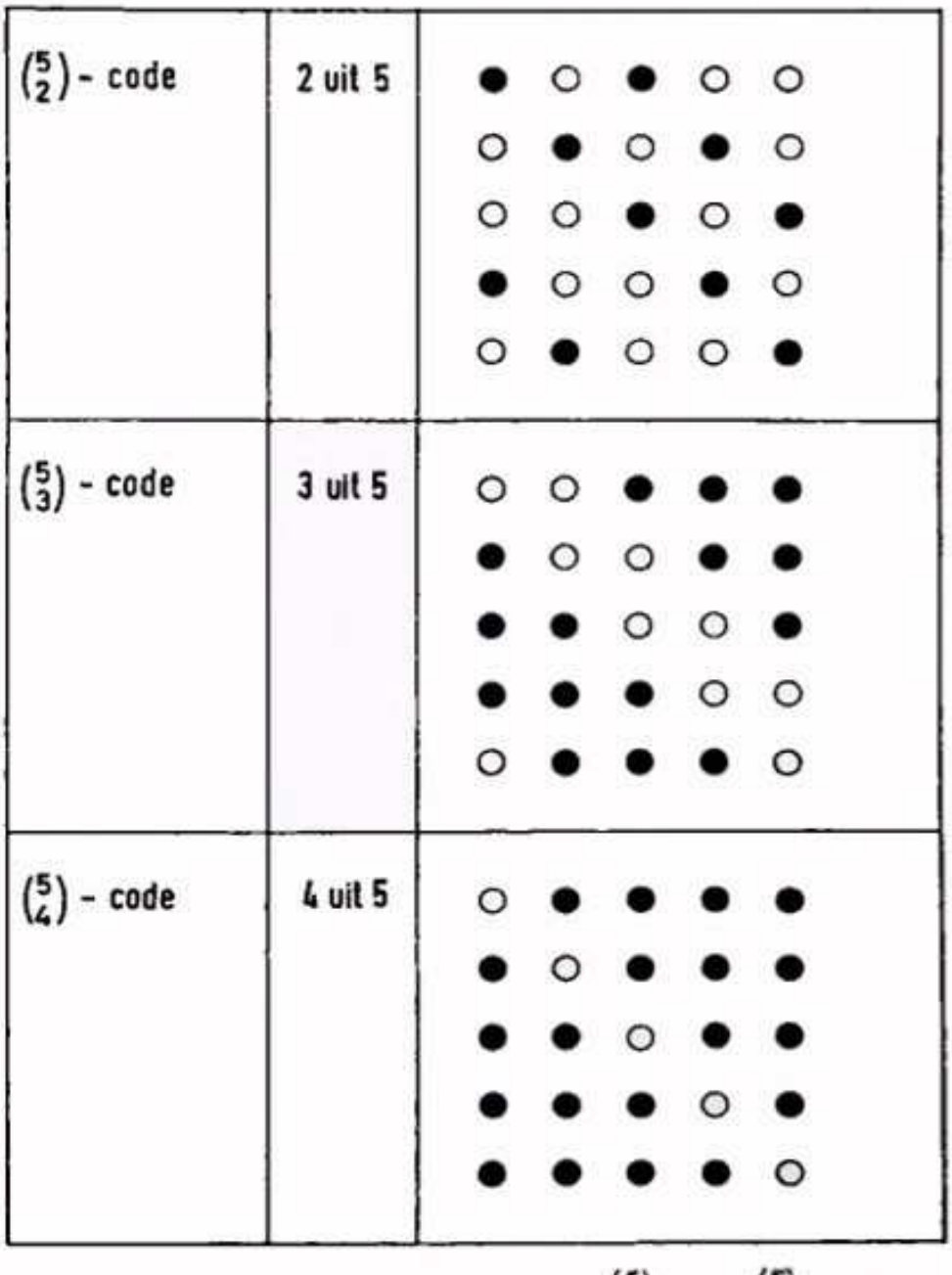


Fig. 32. Schema van de combinatiemogelijkheden bij de $\binom{5}{2}$-code, $\binom{5}{3}$-code en de $\binom{5}{4}$-code.

gecontroleerd. Deze codes maken vooral het gebruik van telexinstallaties mogelijk. De code is niet voor rekenbewerkingen geschikt, wel echter voor geheugens en informatiedragers.

Om bij het tellen binaire cijfers te sparen, gebruikt men de „1 uit 10-code" (zie fig. 25), die daartoe in een „1 uit 5-code" en een „1 uit 2-code" kan worden ontbonden. Hiervoor bestaan twee mogelijkheden, afhankelijk van de vraag, welke van de beide codes men op de eerste plaats zet. Hierdoor ontstaan een „biquinaire" en een „quibinaire" code (zie fig. 33). Opdat niet tweemaal O optreedt, tekent men in het binaire deel 1 resp. 5, wat wil zeggen „niet 1" resp. „niet 5". Deze code is voor de digitale informatieverwerking uiterst geschikt en maakt een eenvoudige decimale indicatie mogelijk (zie ook blz. 150).

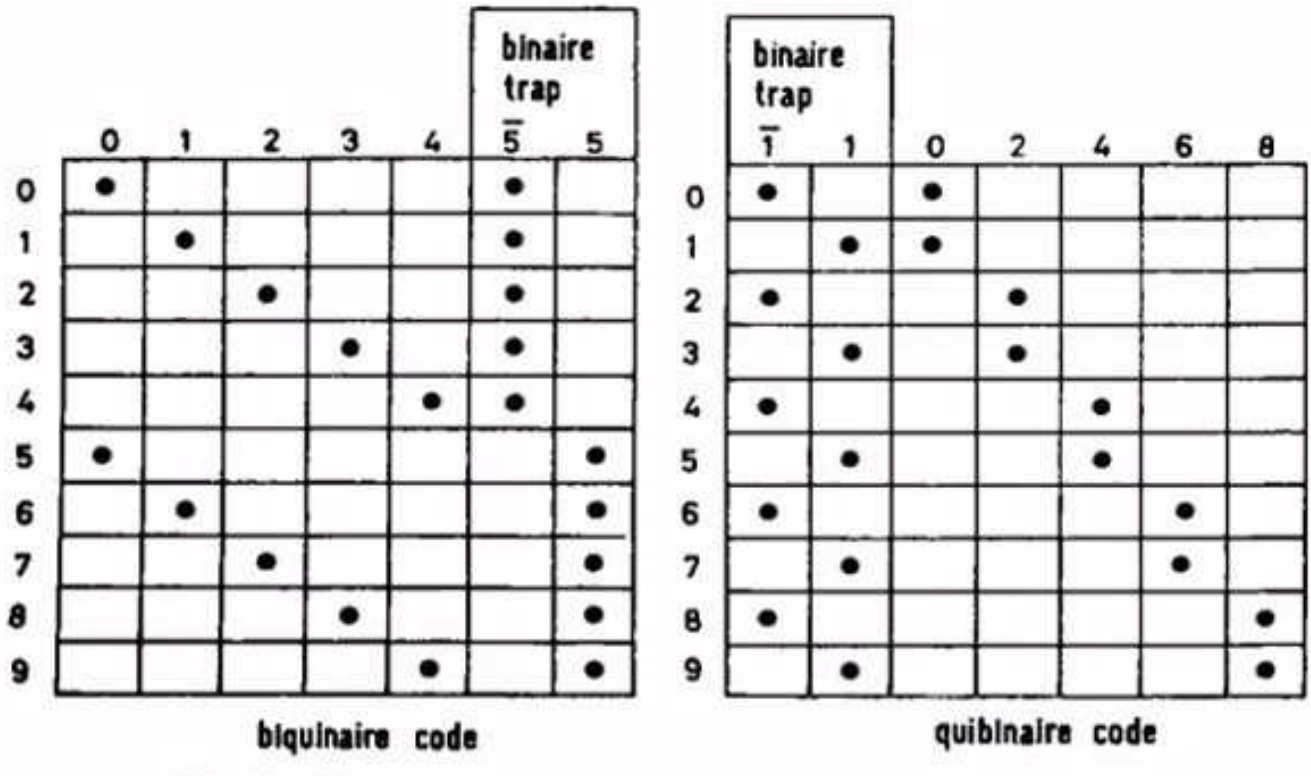


Fig. 33. Schema van de „biquinaire" en de „quibinaire" code.

HOOFDSTUK 7

ANALOOG-DIGITAAL-OMZETTERS

Zoals reeds werd uiteengezet, geschiedt een analoge indicatie voornamelijk door een meetinstrument met een wijzer en een analoge registratie door een continu geschreven kromme, bijv. door een directe schrijver. Ook geeft het verschuiven van de loper van een potentiometer een analoge waarde, alhoewel in dit geval, wanneer de potentiometer uit draad is gewikkeld, eigenlijk een trapsgewijze en dus gekwantiseerde stijging van de spanning optreedt. Maar in principe is elk aan de weerstand afgenomen traject analoog aan de aanliggende spanning.

Analoge meetwaarden worden in de regel in gelijkspanningen uitgedrukt. Het kan hier de meting van kracht, uitzetting, temperatuur en dergelijke betreffen; met behulp van meetwaarde-omzetters wordt de mechanische grootheid in een elektrische spanning omgezet. Het analoge meetsignaal bestaat dus uit een enkel teken, waarvan de grootte de waarde hiervan bepaalt. Bij de overdracht en vooral bij een versterking van dit signaal kunnen evenwel gemakkelijk vervormingen optreden, bijv. door temperatuursinvloeden, door ouderdomsverschijnselen bij buizen en gelijkrichters, door een niet constante bedrijfsspanning van de meetapparatuur en versterkers, door spanningsvariaties en afleidingen enz.

Geheel anders is het bij digitale meetsignalen, die in principe uit een reeks gelijkstroomimpulsen bestaan, waarvan de grootte willekeurig kan zijn. Een vervorming van de impulsen door demping, smalle-bandversterking enz. heeft geen invloed op de meetnauwkeurigheid. Wanneer bij een overdracht van een meetwaarde de met de code en de meetwaarde overeenkomende impulsreeks aan de ontvangerzijde aankomt, is de overdracht op zich geheel foutloos. Aan de ontvangerzijde van de informatie worden de binnenkomende impulsen volgens hetzelfde systeem in een analoog meetsignaal omgezet, zoals dit aan de zenderzijde bij de kwantisering van het analoge signaal en de daarop volgende codering werd toegepast. Fig. 34 toont, hoe een analoog meetsignaal wordt gekwantiseerd en daarna in een duale code kan worden gebracht. Uit de kwantiseringseenheden wordt het

analoge meetsignaal trapvormig gereproduceerd. Met in totaal 14 spanningstrappen kan de grootste waarde van het analoge signaal bij benadering worden bereikt. In feite ligt de maximale waarde iets hoger. Daar echter het verschil tussen de maximale waarde en de veertiende spanningstrap kleiner is dan een enkele spanningstrap, kan deze maximale waarde niet nauwkeurig worden gereproduceerd. Hiermee wordt aangetoond dat de nauwkeurigheid, waarmee dergelijke kwantiseringen worden uitgevoerd, afhankelijk is van het feit, hoe klein een enkele kwant kan worden gemaakt. Hoe lager de trappen, hoe nauwkeuriger het analoge signaal door de getrapte kromme kan worden gereproduceerd. Hiervan een voorbeeld: aangenomen wordt,

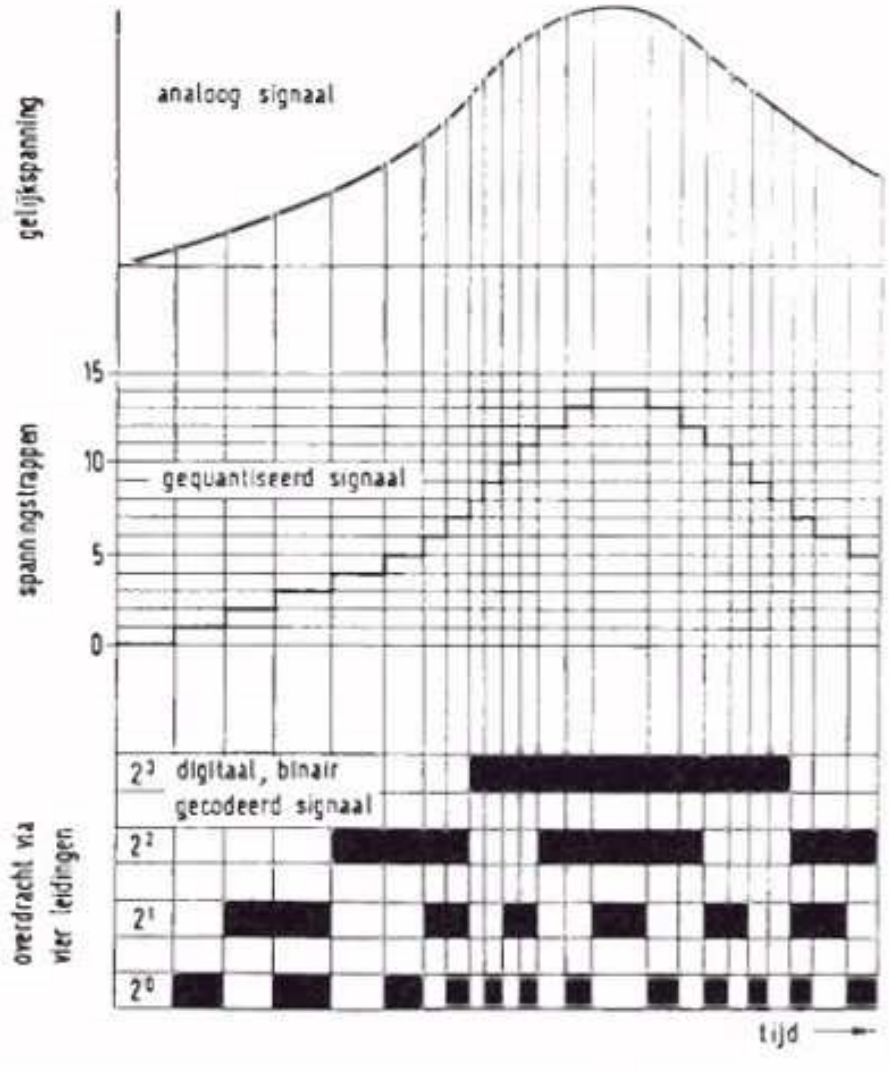


Fig. 34. Een analoog meetsignaal wordt gekwantiseerd, waarbij de reproduktie van de meetwaarde nauwkeuriger wordt naarmate de spanningstrappen kleiner worden gemaakt. Het is echter ook mogelijk, deze spanningstrappen duaal te coderen en deze digitale signalen via vier leidingen over te dragen. Elk van deze leidingen krijgt dan een duale trap (2^0, 2^1, 2^2 of 2^3).

dat de spanningswaarde 572,85 V is. Bij een kwantisering met 1 V-eenheidsstappen kan met drie decaden de waarde 572 V worden weergegeven; de tienden en honderdsten blijven buiten beschouwing. Bij 0,1 V-eenheidsstappen kunnen met vier decaden ook de tienden nauwkeurig worden aangegeven, dus 572,8 V. Slechts met 0,01 V-eenheidsstappen kan men de spanningswaarde op een honderdste nauwkeurig weergeven.

Een meetsignaal kwantiseren betekent: het signaal in elementaire trappen verdelen, die in totaal aan de fysische grootheid van het signaal analoog zijn.

In het onderste gedeelte van fig. 34 is de duale codering van de kwantiseringstrappen aangegeven. Iedere spanningstrap wordt door een duaal getal voorgesteld. Ter beschikking staan 4 duale trappen (2^0, 2^1, 2^2 en 2^3).

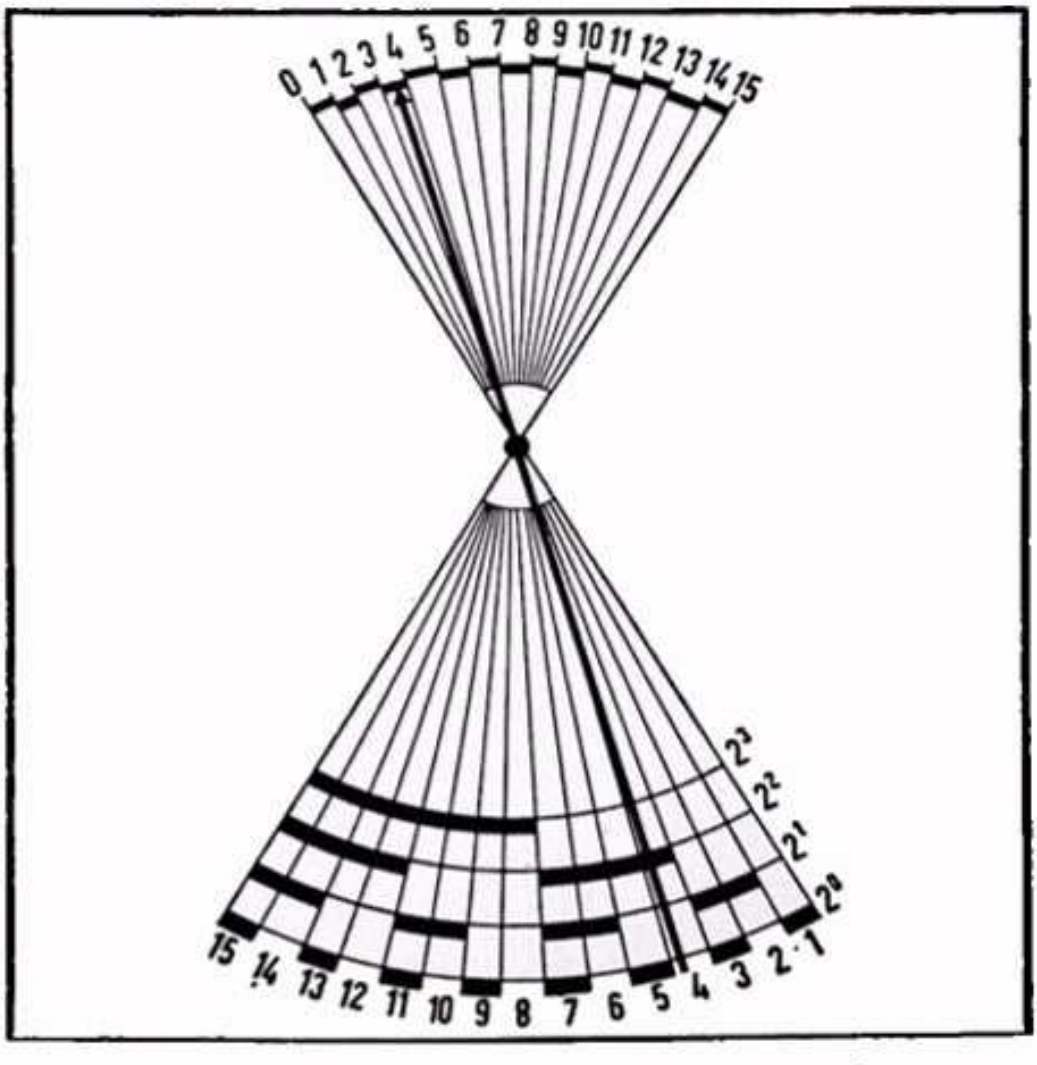


Fig. 35. Hoe men zich de duale codering van de analoge meetwaarde van een meter met een wijzer kan voorstellen. Daar in dit voorbeeld slechts vier duale trappen worden gebruikt, is er een indeling in 15 spanningstrappen; dus kunnen tussenwaarden, bijv. 9,5 of 7,8 niet worden overgedragen. In de praktijk worden voor dergelijke codeerinrichtingen tenminste zeven duale trappen toegepast.

Wanneer men zich vier parallel lopende leidingen voorstelt, die telkens bij een van de vier duale trappen horen, dan komt iedere trap van de getrapte kromme overeen met een bepaalde combinatie van L- en O-tekens op deze leidingen. Loopt er nu een stroom door de leiding 1, dan komt dit overeen met de duale trap $2^0 = 1$, en dus ook met de eerste kwantiseringstrap. De tweede trap, die de waarde 2 krijgt, verschijnt in de codering door een L-teken aan de tweede leiding en door O-tekens aan de overige leidingen. Bij de hoogste waarde van het analoge signaal zijn de leidingen 2, 3 en 4 stroomvoerend, alleen de leiding 1 is stroomloos.

Deze codering zou in het eenvoudigste geval met een wijzerinstrument kunnen worden uitgevoerd, welk instrument, zoals fig. 35 schematisch aangeeft, door een codeerinrichting, direct een analoog-digitaal-omzetting mogelijk maakt. De kwantisering geschiedt met 15 1 V-eenheidsstappen. De codering geschiedt met vier duale trappen.

Ter vergroting van de nauwkeurigheid is een fijnere kwantisering nodig. In vele gevallen is bij elektrische en elektronische metingen een foutengrens van $\pm$ 0,4% voldoende. Voor de codering betekent dit, dat men aan in totaal zeven duale trappen (2^0, 2^1, 2^2, 2^3, 2^4, 2^5, 2^6) voldoende heeft. De meeste eenvoudige analoog-digitaal-omzetters werken daarom met dit aantal trappen. Voor een dergelijke omzetting toont fig. 36 een berekeningsvoorbeeld. Op een meetinstrument met een wijzer wordt de waarde 43 aange-

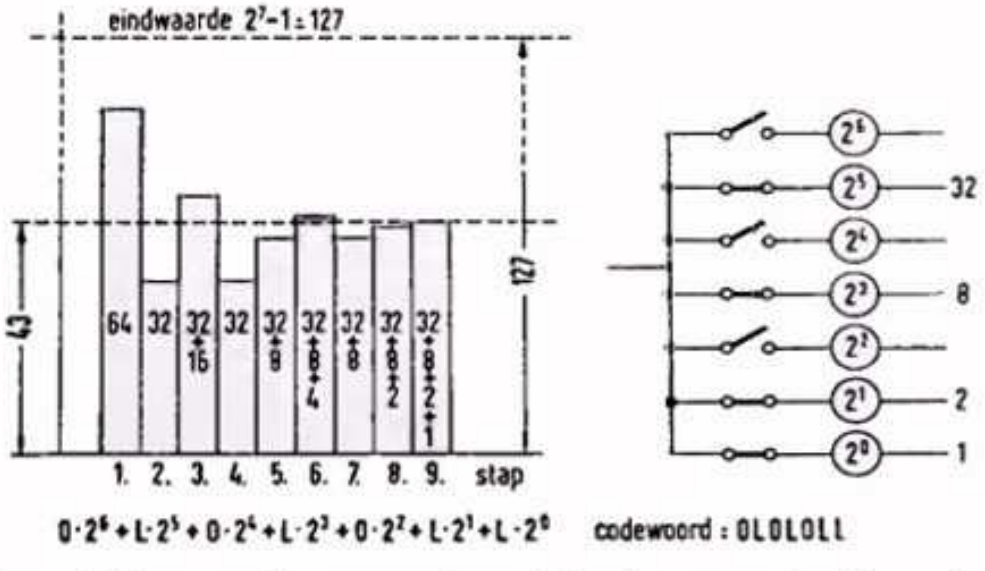


Fig. 36. Het getal 43 moet m.b.v. een analoog-digitaal-omzetter duaal gecodeerd worden, waarbij in totaal zeven duale trappen beschikbaar zijn. De codering geschiedt volgens een „inkapselmethode".

geven. De schaal van het instrument gaat tot 100, en dus komt de einduitslag bij zeven duale trappen overeen met de waarde $2^7 - 1$. De aangegeven analoge waarde 43 krijgt dus de waarde $x = \frac{(2^7 - 1) \cdot 43}{100} = 54{,}61$. Deze waarde moet dus worden gecodeerd.

Om een hoekstand te kunnen coderen gebruikt men codeerschijven, zoals in fig. 37 weergegeven. De contactbanen worden met borstels afgetast, ook is een licht-elektrische aftasting mogelijk. Het principe van de codering komt overeen met die, welke in fig. 35 schematisch is weergegeven, alleen is de overdrachtshoek veel groter (360°). Met behulp van tien duale trappen wordt een grote nauwkeurigheid van de omzetting bereikt. Deze schijfomzetter vindt o.a. toepassing bij niveaumeetinstallaties.

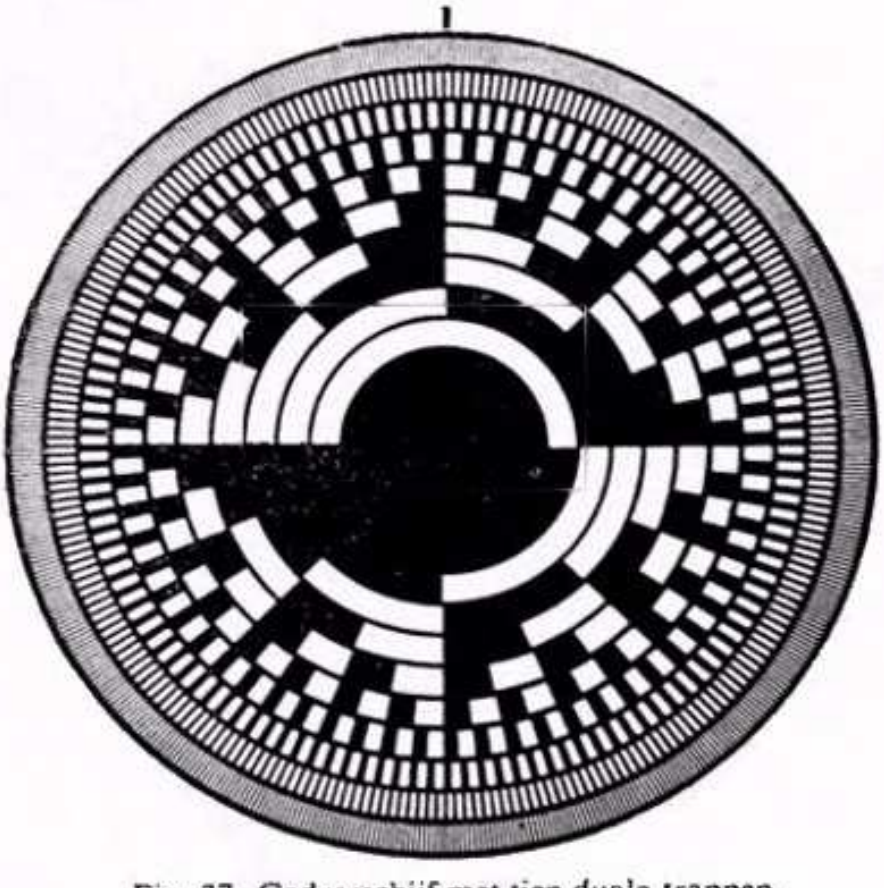


Fig. 37. Codeerschijf met tien duale trappen.

Terwijl bij incrementele systemen een enkele aftastbaan voldoende is, zijn voor absolute systemen, waarbij met iedere spanningswaarde een bepaald codewoord overeenkomt, verscheidene banen noodzakelijk.

Om een spanning, bijv. de analoge meetwaarde 43 V uit het voorgaande voorbeeld, in een digitale vorm te brengen, bestaan er in technisch opzicht

verschillende mogelijkheden. De meest eenvoudige is, de omzetting d.m.v. trap-codeerinrichtingen uit te voeren. Deze onderscheiden zich bovendien door hun grote nauwkeurigheid en leveren direct een digitaal meetresultaat, dat zowel als decimaal getal of in een andere code gecodeerd kan worden voorgesteld.

Men gebruikt daarvoor een brugschakeling, waarin trapsgewijs een spanningsvergelijking geschiedt. Als vergelijkspanning moet een gestabiliseerde standaardspanning beschikbaar zijn. Indien zeven duale trappen aanwezig zijn, liggen de beide takken van de brugschakeling zeven weerstanden uit elkaar, waaraan de spanningen worden afgenomen, die overeenkomen met de duale reeks (1, 2, 4, 8, 16, 32, 64). Voor het gemak wordt aangenomen, dat de weerstanden de waarden 1, 2, 4, 8, 16, 32 en 64 Ω hebben. De totale brugschakeling, die uit een meetpotentiometer R_p met een instelbare loper (zie fig. 85), waaraan de nul-indicator is aangesloten, en de eigenlijke trap-codeerinrichting met zeven dule trappen bestaat, wordt in het onderstaande rekenkundig verduidelijkt. De door de loper van de potentiometer ontstane twee delen van R_p zijn: R_x en $R_p - R_x$. De zeven duale trappen zijn tweemaal aanwezig; de beide trappen $2^0 = 1\ \Omega$ liggen in het midden van de trapschakeling; hieraan is ook de nulindicator met zijn andere pool aangesloten. De som van de beide duale trappen is 127 Ω, overeenkomend met $2^n - 1 = 2^7 - 1 = 128 - 1 = 127$. Wanneer in de zeven linker duale trappen een weerstand (bijv. $2^2 = 4\ \Omega$) is kortgesloten, zijn in de zeven rechter trappen alle weerstanden uitgezonderd $2^2 = 4\ \Omega$ kortgesloten. Links geldt $127 - 4\ \Omega$ en rechts $4\ \Omega$. Men kan dus de vergelijking opstellen:

$$\frac{R_p - R_x}{127 - 4} = \frac{R_x}{4} \text{ en } \frac{R_x}{4} = \frac{R_p}{127}$$

Hieruit kan worden afgeleid:

$$R_x = 4\frac{R_p}{127}$$

De automatische instelling begint, doordat eerst de hoogste deelspanning (overeenkomend met $2^6 = 64$) ter vergelijking met de te meten spanning wordt ingeschakeld. In fig. 36 is dit sterk vereenvoudigd weergegeven.

Eerst zijn alle schakelaars (rechts in de tekening) gesloten. De bovenste schakelaar voor de trap 2^6 begint. Daar 64 te groot is, wordt deze handeling

weer ongedaan gemaakt en daarna wordt de schakelaar voor de trap 2^5 gesloten. Deze tweede trap geeft de waarde 32. Er blijft over 43 — 32 = 11. De schakelaar van de trap 32 blijft gesloten. Nu moet de verkleining van de waarde 43 worden doorgevoerd. De eerstvolgende stap geeft boven op de waarde 32 de waarde 16; hierdoor ontstaat de som van 32 + 16 = 48. Dus 16 is te groot; de schakelaar voor 16 wordt weer geopend. De vijfde stap geeft boven op de waarde 32 de waarde 8, hierdoor ontstaat de waarde 40. Op deze wijze schrijdt de benadering verder, tot tenslotte de waarde 43 is bereikt. Een nul-indicator stelt deze gelijkheid van spanningen vast; de omvorming is hiermede beëindigd. Het overeenkomstige code-woord luidt: OLOLOLL.

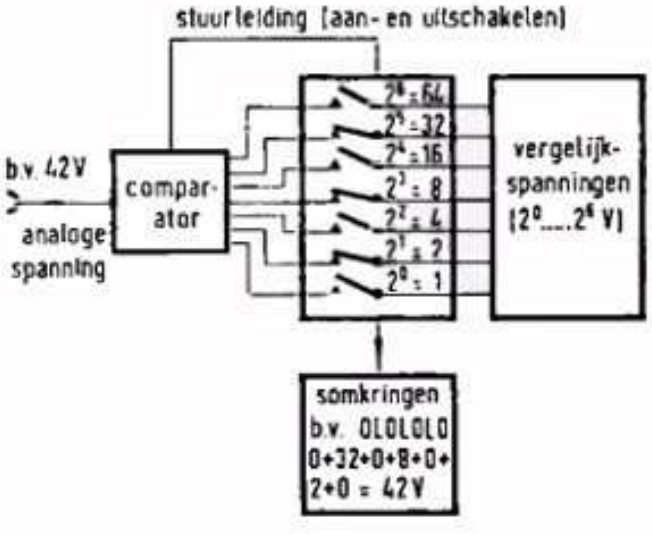


Fig. 38. Blokschema van een analoog-digitaal-omzetter. De analoge spanningswaarde wordt volgens de „inkapselmethode" achtereenvolgens met de spanningen van de zeven duale trappen vergeleken.

Fig. 38 toont een vereenvoudigde schakeling van een dergelijke analoog-digitaal-omzetter. De analoge spanning – in het voorbeeld 42 V – wordt in binaire getallen omgezet. Eerst wordt het bovenste contact (2^6) gesloten, daarna wordt het tweede contact (2^5) gesloten en het eerste weer geopend. Tenslotte zijn de contacten 2^5, 2^3 en 2^1 gesloten en de contacten 2^6, 2^4, 2^2 en 2^0 geopend. De afzonderlijke vergelijkingstrappen worden in de regel vanuit een constante hulpspanningsbron gevoed. Aan de weerstanden van de spanningsdeler ontstaan dan spanningsvallen, waarvan de grootte overeenkomt met de afzonderlijke trappen van de codeerinrichting, bijv. binaire plaatsen. De spanningsdeler wordt hierbij zodanig geconstrueerd, dat onafhankelijk van het feit, welke weerstand van de deler juist is ingeschakeld, de belasting constant blijft.

De analoog-digitaal-omzetting volgens een geheel ander principe, de tijd-codering, geschiedt volgens de schakeling van fig. 39. De om te zetten analoge meetspanning – in dit voorbeeld 5 V – wordt met een lineair stijgende spanning vergeleken (zie fig. 40). In het voorbeeld bereikt de vergelijkingsspanning van de zaagtandgenerator een hoogste waarde van 10 V.

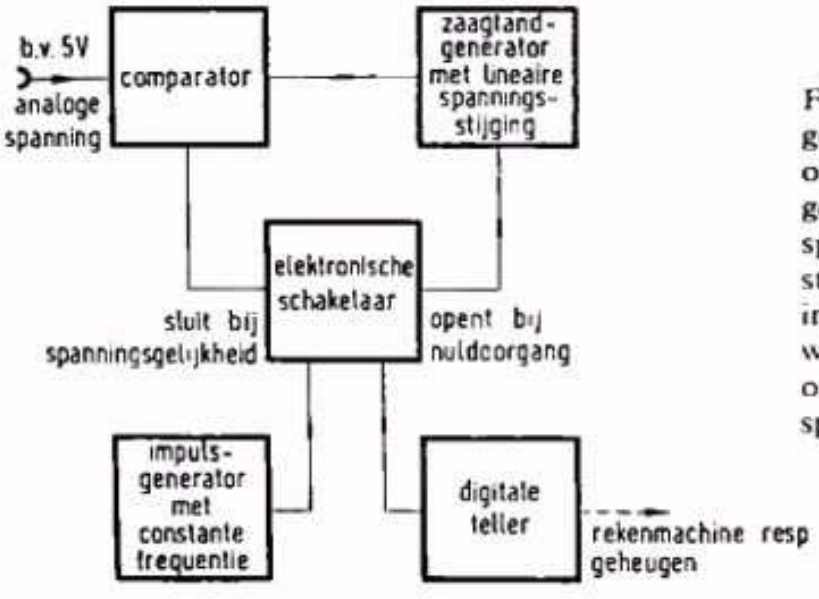


Fig. 39. Een andere methode, volgens welke een analoog-digitaal-omzetting plaats vindt. In de vergelijkinrichting wordt de analoge spanningswaarde met een lineair stijgende zaagtandspanning van een ingebouwde impulsgenerator geteld, waarvan het aantal dus informatie omtrent de hoogte van de analoge spanningswaarde verschaft.

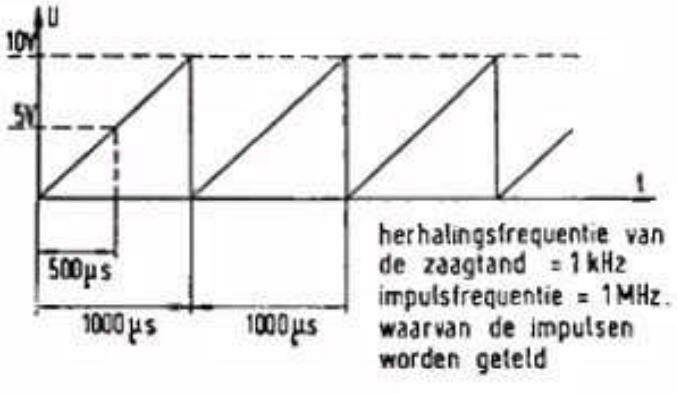


Fig. 40. De zaagtandspanning van de analoog-digitaal-omzetter volgens fig. 39. De impulsgenerator levert 10^6 impulsen/s. Daar de herhalingsfrequentie van de zaagtand 10^3 Hz bedraagt, ontstaan dus 10^3 impulsen per zaagtand. In het getallenvoorbeeld is de hoogste waarde van de zaagtandspanning 10 V; bijgevolg worden bij 5 V ingangspanning 500 impulsen geteld.

Deze waarde wordt uitgaande van 0 V, na 1000 µs bereikt; de frequentie van de zaagtandgenerator bedraagt 10 kHz. Zo zal na verloop van 500 µs een gelijkheid met de meetspanning zijn bereikt. Terwijl dus de zaagtandspanning stijgt, levert de impulsgenerator impulsen, en wel 10^6/s. Dus per µs komt één impuls in de digitale teller.

Het tellen stopt op het ogenblik, waarop de ingangsspanning en de zaagtandspanning gelijk zijn. Het resultaat van de telling komt dan overeen

met de hoogte van de analoge spanning (zie fig. 41). Om ook snel veranderende spanning te kunnen omzetten is het noodzakelijk, de analoog-digitaal-omzetter zodanig te construeren, dat de vergelijking uiterst snel en steeds herhalend geschiedt. Dergelijke omzetters herleiden de spanningsmeting tot een tijdmeting. De nauwkeurigheid hangt van de aanspreekgevoeligheid van de nul-indicatoren en van de constantheid en lineariteit van de zaagtandspanning af.

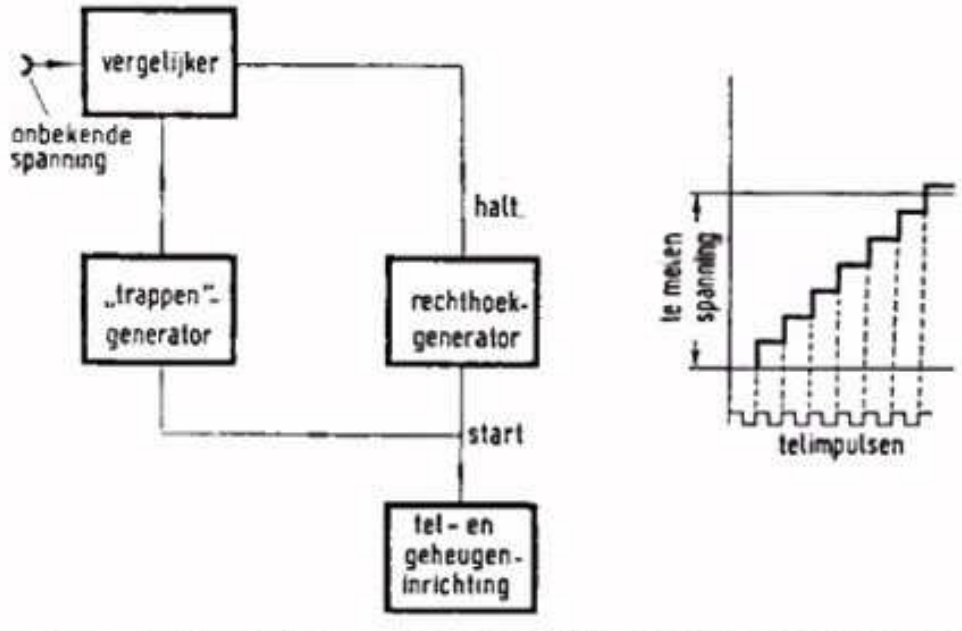


Fig. 41. Terwijl men in de schakeling volgens fig. 39 de analoge spanningswaarde met een lineair stijgende spanning vergelijkt, geschiedt dit bij deze analoog-digitaal-omzetter met een „trapspanning" (zie ook fig. 34). Geteld worden de „trappen", waarvan het aantal informatie omtrent de hoogte van het analoge meetsignaal verschaft.

Hetzelfde is bij de op blz. 31 beschreven tijd- resp. periodenduurmeting het geval. Ook daar werden gedurende een gedefinieerde en instelbare telduur de zeer constante impulsen van een kwartsgenerator geteld. Uit het resultaat van deze telling, dat bij voorgeschreven condities werd verkregen, kan men dan de grootte van het onbekende meetsignaal herleiden.

HOOFDSTUK 8

LOGISCHE SCHAKELINGEN

De basis van de „logische schakelingen" is het binaire principe, de binaire werkwijze. In de natuur en in de door de mens geschapen techniek bestaan veel handelingen, die slechts door twee tegengestelde toestanden zijn gekarakteriseerd; er zijn dan slechts twee toestanden mogelijk. Zo is een poort óf geopend óf gesloten. Ditzelfde is bij de elektrische stroomkring het geval. Ook deze kan slechts geopend of gesloten zijn. Een tussentoestand is niet mogelijk.

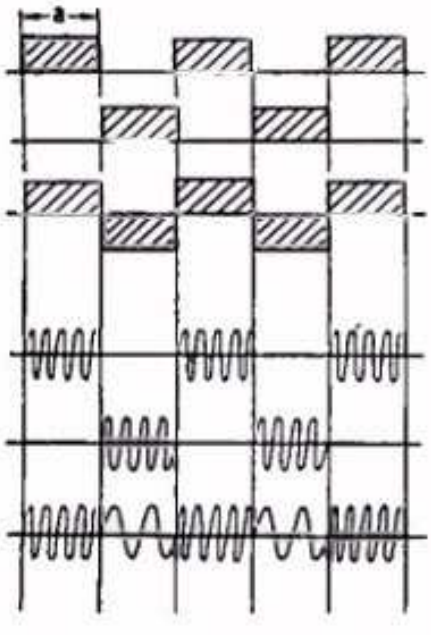


Fig. 42. Stroom *a* (zie ook blz. 140) bij nullaststroom; daaronder bij arbeidsstroom (beide enkelstroom). Op de derde plaats van boven dubbelstroombedrijf met twee verschillende stroomrichtingen. Op de plaatsen vier tot zes van boven ditzelfde maar dan met wisselstroomimpulsen.

Bij de elektrische stroomkring is echter nog een ander binair alternatief mogelijk. De kring is daarbij principieel gesloten, er vloeit dus een stroom. De binaire toestanden zijn nu door een omkering van de polariteit resp. de richting van de stroom gegeven. Dat betekent dus niet: „stroom" en „geen stroom" maar „stroom in positieve richting" en „stroom in negatieve richting" resp. heel eenvoudig gezegd „positief" en „negatief", waarbij men deze aanduiding geheel willekeurig kan kiezen.

Betreft het afzonderlijke stroomstappen in de stroomkring, dus in tijd begrensde impulsen, dan spreekt men in de telecommunicatietechniek in het eerste geval (stroom – geen stroom) van „enkelvoudige stroom" en in het tweede geval (positief – negatief) van „dubbele stroom" (zie ook fig. 42). Het dubbelstroom-principe biedt het voordeel, dat de leiding resp. de stroomkring steeds stroom-geleidend is, daardoor is een simulering van een „geen-stroom-impuls" door het uitvallen van de stroom niet mogelijk. Hieruit blijkt een geringere storingsgevoeligheid van het dubbelstroom-systeem.

Ditzelfde principe is natuurlijk ook in de wisselstroomtechniek mogelijk. Worden afzonderlijke „wisselstroompakketten" met gelijke frequentie uitgestraald, dan komt dit overeen met de „stroomimpulsen" van het enkelvoudig-stroom-principe. Tussen de wisselstroomimpulsen blijft de leiding stroomloos. De analogie met de dubbelstroom bestaat hierin, wisselstroomimpulsen met twee verschillende frequenties op te wekken. Hierbij blijft de leiding eveneens constant onder stroom. Aan de ontvangzijde is dan een elektrische wissel voor de beide frequenties noodzakelijk. Het dubbelstroom- resp. dubbeltoonprincipe (de twee frequenties komen in het laagfrequentgebied met twee verschillend hoge tonen overeen) (zie fig. 42), biedt bovendien nog het voordeel, dat de verbinding tussen zender en ontvanger, die immers nooit door „geen-stroom-impulsen" worden verbroken, automatisch op niveau kan worden gebracht, d.w.z. de voor de verbinding noodzakelijke versterkers stellen zich automatisch op de juiste versterkingswaarde in. Dit is bij draadloze telegrafieverbindingen van groot belang. Voor systemen met binaire werking bestaan speciale wetten, die reeds meer dan honderd jaar geleden door de Engelse wiskundige Boole grondig werden onderzocht. Hij noemde dit speciale soort wiskunde de „algebra van de logica". Dit is de enige niet-rekenkundige algebra, waarbij 1 + 1 geenszins 2 is, zoals nog nader wordt toegelicht.

De Amerikaan Shannon bracht in 1938 het principe van de „Boole-algebra" over op technische operaties en schiep daarmee de grondslag voor datgene, wat nu als „logische schakelingen" wordt aangeduid. Ook is de Boole-algebra een schakelalgebra. Zonder deze zouden er geen elektronische rekenmachines, geen automatische elektronische machinebesturingen, om maar twee voorbeelden te noemen, bestaan.

Middelen van de schakelalgebra zijn de logische functies, de EN-functie (samenvoegend), de OF-functie (uitsluitend), de NIET-functie (ontkennend) (fig. 43). Voor de EN-functie geldt: een uitgangsgrootheid (van een elektronische schakeling) kan slechts dan ontstaan, wanneer alle ingangsgroot-

heden aanwezig zijn. Een dergelijke functie kan men zich voorstellen bijv. als bewakingssysteem voor een verbrandingsmotor. De motor mag slechts dan worden gestart, wanneer er brandstof in de tank is, wanneer koelvloeistof aanwezig is en wanneer voor een voldoende smering wordt gezorgd.

A

ingangen			uitgang
1	2	3	
0	0	0	0
L	0	0	0
0	L	0	0
0	0	L	0
L	L	0	0
0	L	L	0
L	0	L	0
L	L	L	L

B

ingangen			uitgang
1	2	3	
0	0	0	0
L	0	0	L
0	L	0	L
0	0	L	L
L	L	0	L
0	L	L	L
L	0	L	L
L	L	L	L

Fig. 43. Schematische voorstelling van „EN"- en „OF-verbindingen". *A* laat de EN-functie zien, *B* de OF-functie. Bij *A* heeft de uitgang slechts een L, wanneer alle drie de ingangen een L hebben. Bij *B* is het juist omgekeerd. Hier verschijnt ook reeds dan een L, wanneer aan slechts een (of twee) ingangen een L aanwezig is. Er is maar één O-toestand.

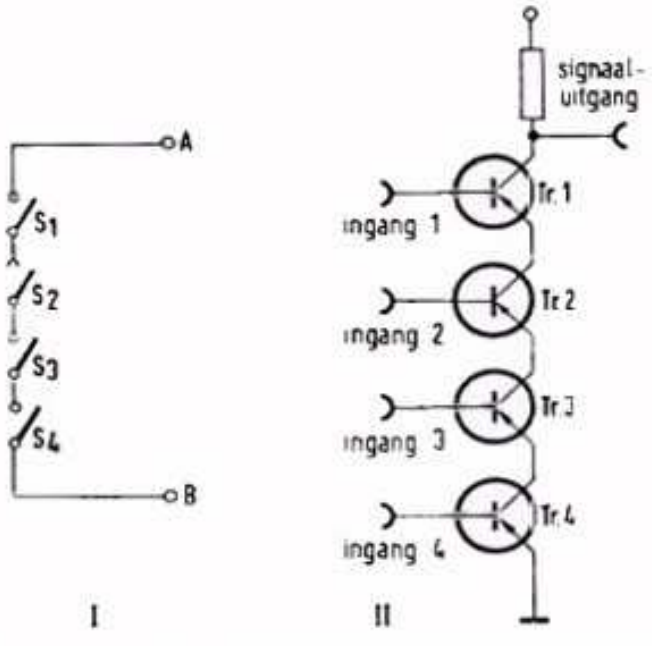


Fig. 44. Een „EN-schakeling" kan men zich als een reeks aaneengeschakelde contacten voorstellen (I). De uit vier transistoren bestaande „EN-schakeling" (II) geeft slechts dan een uitgangssignaal, wanneer aan alle vier de ingangen spanningen werken.

Als schakeling kan men dit functionele verband door de serieschakeling van drie contacten voorstellen (fig. 44 I toont vier contacten). Een stroomdoorgang treedt slechts dan op, wanneer alle schakelaars zijn gesloten, slechts dan bestaat er tussen de punten *A* en *B* van de schakeling een geleidende verbinding. Een logische beslissing is aanwezig, wanneer bij een proces in totaal aan vier voorwaarden (in dit voorbeeld vier, natuurlijk kan dit een willekeurig aantal zijn) dient te worden voldaan, voordat het proces kan beginnen. Ontbreekt nu een van deze voorwaarden, bijv. door het uitvallen van een apparaat, van een schakelaarelement enz., dan stopt het proces.

Het sluiten van een of twee schakelaars heeft nog geen uitgangsgrootheid tot gevolg.

Aan de hand van dit voorbeeld zal het ook duidelijk zijn, waarom Boole de regelmatigheden van dit functionele verband „logische algebra" noemde. Er bestaat een logisch verband tussen de situaties aan de ingangen en het uitgangssignaal.

De OF-functie is gebaseerd op de stelling: de uitgangsgrootheid ontstaat reeds dan, wanneer slechts een van verscheidene ingangsgrootheden aanwezig is.

Hiervan allereerst een eenvoudig voorbeeld: wil men een bepaalde stad binnenrijden, dan is het voldoende, een van de vele mogelijke wegen te gebruiken, weg 1, weg 2 of weg 3 enz.

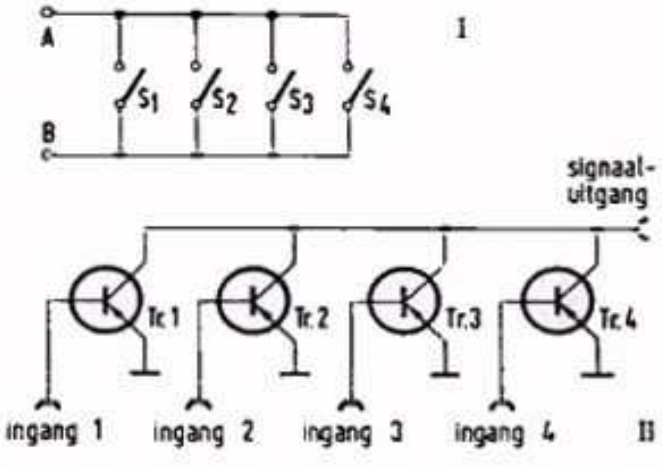


Fig. 45. Een „OF-schakeling" is in principe niets anders dan een parallelschakeling van verscheidene contacten. (I). De uit vier transistors bestaande „OF-schakeling" (II) geeft een uitgangssignaal, wanneer aan een of ander van de ingangen een spanning werkt.

Op de elektrische stroomkring overgebracht betekent dit, een parallelschakeling van willekeurig vele contacten. De stroomkring is reeds gesloten, wanneer een enkel contact is gesloten.

Fig. 45 I toont schematisch een OF-schakeling met vier ingangen. Hierin wordt uiteengezet, dat $1 + 1 = 1$ en $1 + 1 + 1$ eveneens gelijk 1 is, want het maakt geen verschil, hoeveel schakelaars gesloten zijn, steeds is er slechts de werking van een enkel gesloten contact.

De NIET-functie kan als volgt worden verklaard: de uitgangsgrootheid ontstaat, wanneer geen ingangsgrootheid aanwezig is. Het is een logische ontkenning, resp. omkering van de bevestiging. Het eenvoudigste voorbeeld hiervoor is het ruststroomrelais, waarbij een arbeidscontact wordt gesloten, wanneer de ruststroom wordt onderbroken.

Een goed voorbeeld voor de toepassing van „EN-", „OF-" en „NIET-schakelingen" is een automatische menginstallatie (zie blz. 123), waarmee

beton wordt samengesteld. Door een „EN-schakeling" met vier ingangen wordt gegarandeerd, dat zowel cement alsmede zand en grind en water aanwezig zijn (zie fig. 46). Slechts indien alle vier bestanddelen beschikbaar zijn, worden de kleppen geopend en komen de grondstoffen in de menger. Met een „OF-schakeling" met drie ingangen wordt bereikt, dat dit proces ook dan start, wanneer de eerste container voor cement leeg is, de tweede resp. derde echter nog is gevuld; dus of de eerste of de tweede of de derde container.

De „NIET-schakeling" kan worden toegepast, wanneer vermeden moet worden, dat nieuw materiaal in de menger stroomt, ofschoon nog niet alle gemengde beton hieruit is verwijderd (fig. 46).

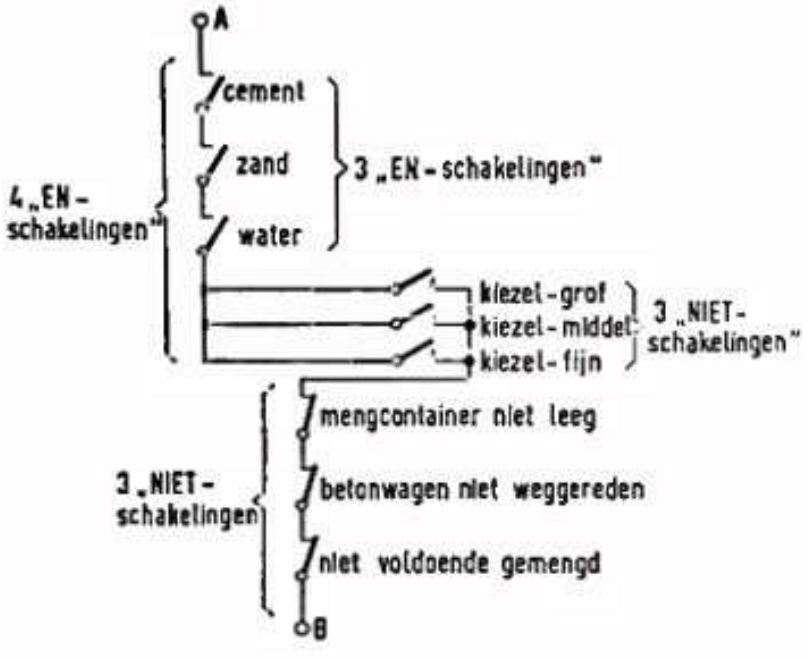


Fig. 46. Toepassingsvoorbeeld voor „EN-", „OF-" en „NIET-schakelingen" bij een automatische betonmenginrichting (zie ook blz. 123). Interessant daarbij is, dat de drie „OF-schakelingen" als „EN-schakeling" worden gebruikt.

De tot dusver besproken schakelingen bestonden eenvoudigheidshalve uit schakelcontacten. Duidt men de contacten met de kleine letters van het alfabet aan (*a*, *b*, *c* enz.) dan kan men de mogelijke schakeltoestanden in een tabel samenvatten. Bij een schakelaarcombinatie, bijv, van een „OF-schakeling", met n ingangen zijn 2^n combinaties mogelijk.

$n = 2$

	a	*b*
1.	L	O
2.	O	L
3.	L	L
4.	O	O

$n = 3$

	a	b	c
1.	O	O	O
2.	O	O	L
3.	O	L	O
4.	O	L	L
5.	L	O	O
6.	L	O	L
7.	L	L	O
8.	L	L	L

Krijgt iedere schakelaar een werk- en een rustcontact, dan wordt de tabel:

$n = 2$

	a	$\bar{a}$	b	$\bar{b}$
1.	L	O	O	L
2.	O	L	L	O
3.	L	O	L	O
4.	O	L	O	L

Is in een serieschakeling van de contacten a, b en c (enz.) een rustcontact aanwezig, dan wordt dit met een dwarsstreepje aangegeven, bijv. $\bar{a}$. Dit contact $\bar{a}$ veroorzaakt een „NIET-schakeling". Tot slot de voorstelling van de schakeltoestanden m.b.v. de binaire tekens L en O.

$a\ b\ c \rightarrow 1\ 1\ 1 \rightarrow L\ L\ L$
$a\ \bar{b}\ c \rightarrow 0\ 1\ 1 \rightarrow O\ L\ L$
$a\ b\ c \rightarrow 1\ 0\ 1 \rightarrow L\ O\ L$
$a\ b\ \bar{c} \rightarrow 1\ 1\ 0 \rightarrow L\ L\ O$

In de praktijk worden de logische schakelingen voornamelijk met dioden en transistors vervaardigd. Fig. 44 II toont een „EN-schakeling", waarbij de schakelaars van fig. 44 I door transistors werden vervangen. Aan de uitgang verschijnt pas dan een signaal, wanneer ieder van de vier transistors geleidend wordt, d.w.z. wanneer elk der vier transistors via de basis een openingsimpuls krijgt. Op dezelfde wijze wordt in fig. 45 II de „OF-schakeling" met transistors opgebouwd. Aan de hand van twee andere voorbeelden zal nu worden verduidelijkt, hoe dergelijke schakelingen met dioden zijn opgebouwd.

Fig. 47 toont de eerste schakeling. Wanneer aan de ingang 1 een positieve potentiaal ligt, vloeit er een stroom via de gelijkrichter *GL* 1 en de weerstand R_3. De gelijkrichter is in tegenstelling met R_3 laagohmig, derhalve is aan de uitgang de gehele positieve potentiaal aanwezig.

Deze toestand verandert niet, ook niet, wanneer via de gelijkrichter *GL* 2 een stroom zou vloeien. Het betreft hier dus een „OF-schakeling". Aan de uitgang is een positieve potentiaal aanwezig, wanneer aan de ingangen 1 of 2 positieve spanningen liggen.

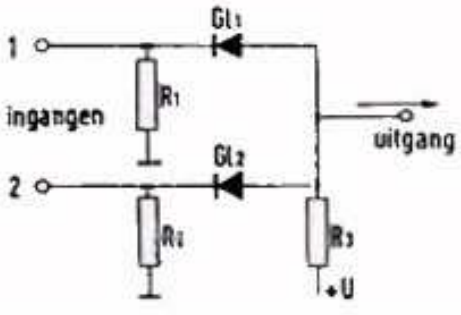


Fig. 47. „OF-schakeling" met twee ingangen, opgebouwd uit dioden.

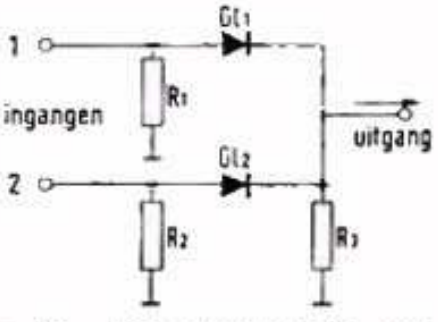


Fig. 48. „EN-schakeling" met twee ingangen, opgebouwd uit dioden.

Geheel anders is het bij de schakeling volgens fig. 48. Hier vloeit constant een stroom via de weerstand R_3, alsmede via de beide gelijkrichters *GL* 1 en *GL* 2 en de weerstanden R_1 en R_2. Deze laatsten zijn t.o.v. R_3 laagohmig, waardoor aan de uitgang van de schakeling een nul-potentiaal heerst.

Deze nul-potentiaal wordt pas opgeheven, wanneer de stroom door de beide gelijkrichters wegvalt. Nu is er dus sprake van een „EN-schakeling", want de nul-potentiaal aan de uitgang is slechts dan aanwezig, wanneer *GL* 1 en *GL* 2 stroomvoerend zijn. In de schakeling volgens fig. 49 wordt de „EN-functie" met vier dioden gerealiseerd. Wanneer de binaire O uit de L-O-beslissing overeen dient te komen met de potentiaal 0 V aan de uitgang, dan zal dit bij de desbetreffende schakeling steeds zolang het geval zijn, als aan één uitgang (1, 2, 3 of 4) de potentiaal 0 V aanwezig is. Eerst wanneer alle ingangen op −6 V worden gebracht, verschijnt ook aan de uitgang deze spanningswaarde, die dan met de beslissing L overeenkomt.

Terwijl bij de „logische schakelingen" (met althans twee ingangen en een uitgang) oorzaak en gevolg volgens de logische algebra met elkaar in verband staan, wordt bij de poortschakeling enkel en alleen een weg geopend

of gesloten. Fig. 50 toont een eenvoudige diode-poortschakeling. Wordt de diode GL 1 via R_1 voorgespannen, dan kan een ingangsimpuls de poortschakeling slechts dan passeren, wanneer zijn spanning groter is dan de voorspanning. Zonder voorspanning laat de schakeling alle impulsen van een bepaalde polariteit door; de impulsen met tegengestelde polariteit worden daarentegen tegengehouden.

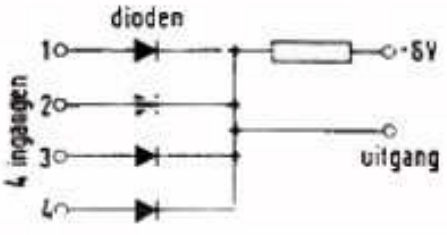


Fig. 49. „EN-schakeling" met dioden voor vier ingangen.

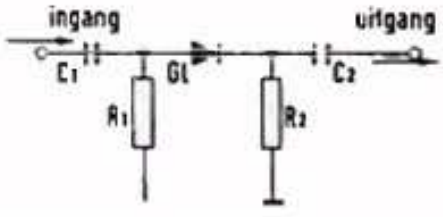
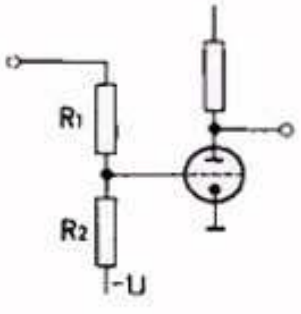


Fig. 50. Poortschakeling met een diode.

Soms is het noodzakelijk, een L-beslissing in een O-beslissing om te zetten of omgekeerd. In dat geval wordt een inverteer-schakeling gebruikt, zoals in fig. 51 is weergegeven.

Fig. 51. Schakeling van een negator waarmee een omkering van de informatie wordt verkregen (L wordt O, resp. O wordt L).



Tenslotte wordt een schakeling bestaande uit drie flip-flops met logische schakelingen en een poortschakeling getoond. Met de drie dioden wordt volgens fig. 52 een „EN-functie" uitgevoerd. De poortschakeling (buis) wordt door de „EN-schakelingen" gestuurd, deze krijgen echter hun ingangsimpulsen van de flip-flops. Nadat de werking van de drie logische schakelingen („EN", „OF", „NIET") is toegelicht, dient iets meer over de schakelalgebra te worden gezegd.

Bij een serieschakeling van twee contacten, bijv. a en b, kunnen de regels voor een conjunctie zuiver rekenkundig met een vermenigvuldiging van a en b worden verkregen; want hierbij geldt: $0 \cdot 0 = 0$; $0 \cdot 1 = 0$; $1 \cdot 0 = 0$ en $1 \cdot 1 = 1$. Voor de conjunctie kan dus worden geschreven:

$$\text{serieschakeling} \begin{cases} 0 \,\&\, 0 = 0 \text{ resp. } 0 \wedge 0 = 0 \\ 0 \,\&\, 1 = 0 \qquad\quad 0 \wedge 1 = 0 \\ 1 \,\&\, 0 = 0 \qquad\quad 1 \wedge 0 = 0 \\ 1 \,\&\, 1 = 1 \qquad\quad 1 \wedge 1 = 1 \end{cases}$$

Omdat van een vermenigvuldiging wordt uitgegaan, wordt ook vaak geschreven $0 \cdot 0 = 0$ resp. $0 \times 0 = 0$ en $1 \cdot 1 = 1$ resp. $1 \times 1 = 1$. Daar de vermenigvuldigingstekens echter gemakkelijk aanleiding kunnen geven tot vergissingen, wordt aangeraden, de speciale tekens & en $\wedge$ te gebruiken.

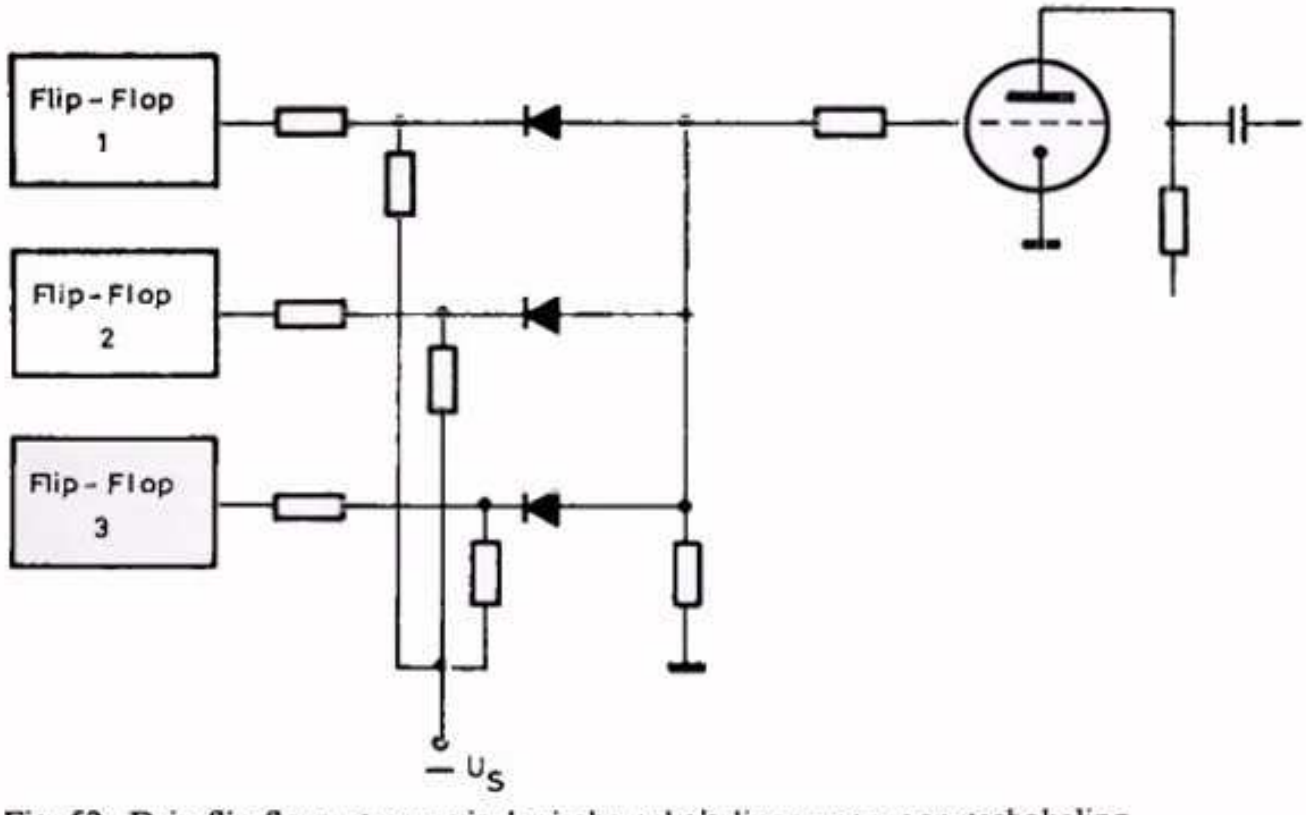


Fig. 52. Drie flip-flops sturen via logische schakelingen een poortschakeling.

Worden nu de contacten parallel geschakeld, dan kan men rekenkundig m.b.v. een optelling de regels voor de disjunctie verkrijgen, dan geldt: $0 + 0 = 0$; $0 + 1 = 1$; $1 + 0 = 1$; slechts bij $1 + 1 = 1$ verschilt de schakelalgebra (Boole-algebra) van de normale algebra. Maar $1 + 1 = 1$ is heel logisch, wanneer men bedenkt, dat het bij een willekeurig aantal parallele contacten om het even is, hoeveel van deze contacten telkens zijn gesloten, steeds is de werking van één gesloten contact belangrijk. Dus $1 + 1 + 1 + 1 = 1$ en $1 + 1 = 1 + 1 + 1 + 1$.

parallelschakeling $\begin{cases} O \vee O = O \\ O \vee L = L \\ L \vee O = L \\ L \vee L = L \end{cases}$ ($\vee$ van het lat. vel)

In plaats van het teken $\vee$ wordt vaak ook het bekende plusteken $+$ genomen. Maar men dient echter om de reeds genoemde redenen meer het speciale teken $\vee$ van de Boole-algebra te gebruiken.

Is een schakeling met drie in serie geschakelde werkcontacten a, b en c zodanig uitgevoerd, dat in de situatie $a = L$, $b = L$, $c = L$ een andere stroomkring wordt geopend (i.p.v. gesloten) (bijv. met behulp van een ruststroomrelais) dan luidt de vergelijking van de schakelalgebra:

$$\overline{a \cdot b \cdot c}$$

resp. $\overline{a} \,\&\, \overline{b} \,\&\, \overline{c}$

resp. $\overline{a} \wedge \overline{b} \wedge \overline{c}$ (fig. 53A)

Deze schakeling is identiek aan:

$$\bar{a} + \bar{b} + \bar{c}$$

resp. $\bar{a} \vee \bar{b} \vee \bar{c}$ (fig. 53B).

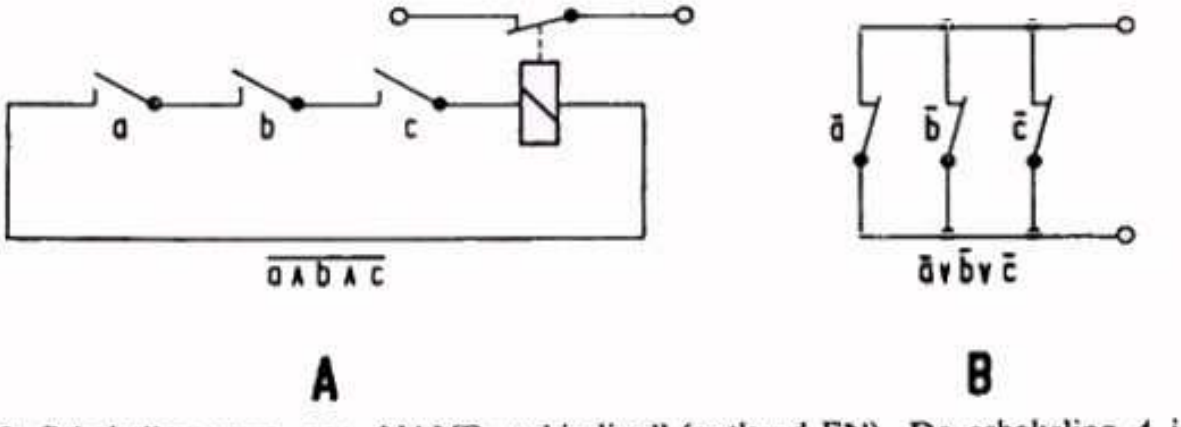


Fig. 53. Schakeling voor een „NAND-verbinding" (ontkend EN). De schakeling *A* is identiek aan de schakeling *B*.

dus aan een parallelschakeling van drie rustcontacten. Met een dergelijke schakeling kan een NAND-verbinding (samenstelling van NOT en AND) worden uitgevoerd. Voor drie in serie liggende werkcontacten, dus $a \wedge b \wedge c$ (fig. 54A) is een schakeling identiek, waarbij drie rustcontacten parallel

liggen; een ruststroomrelais sluit een stroomkring, wanneer alle drie de rustcontacten worden geopend, dus:

$\overline{\bar{a} + \bar{b} + \bar{c}}$ resp. $\overline{\bar{a} \vee \bar{b} \vee \bar{c}}$ (fig. 54B)

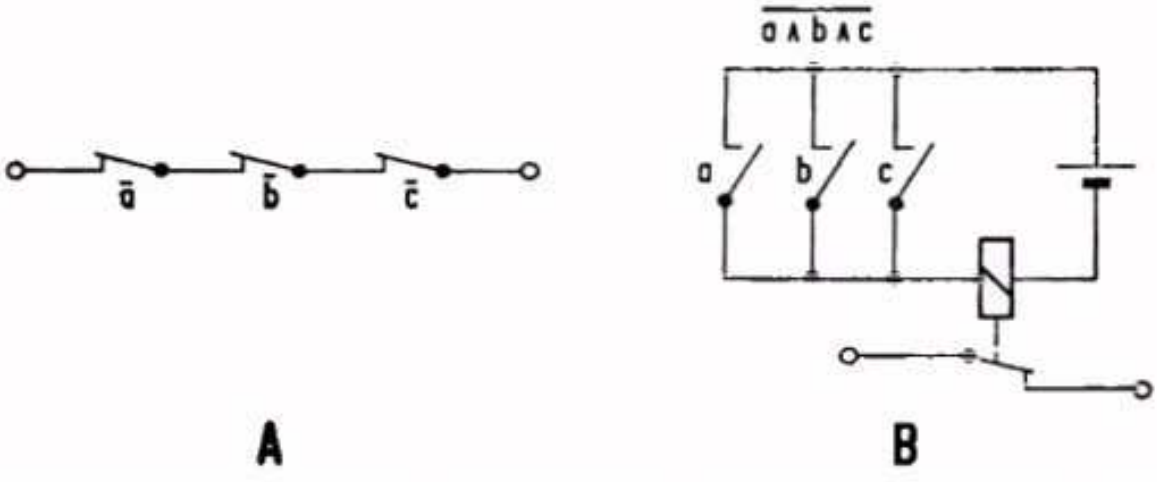


Fig. 54. De schakeling voor de „EN-verbinding", *A* is identiek aan de schakeling *B*.

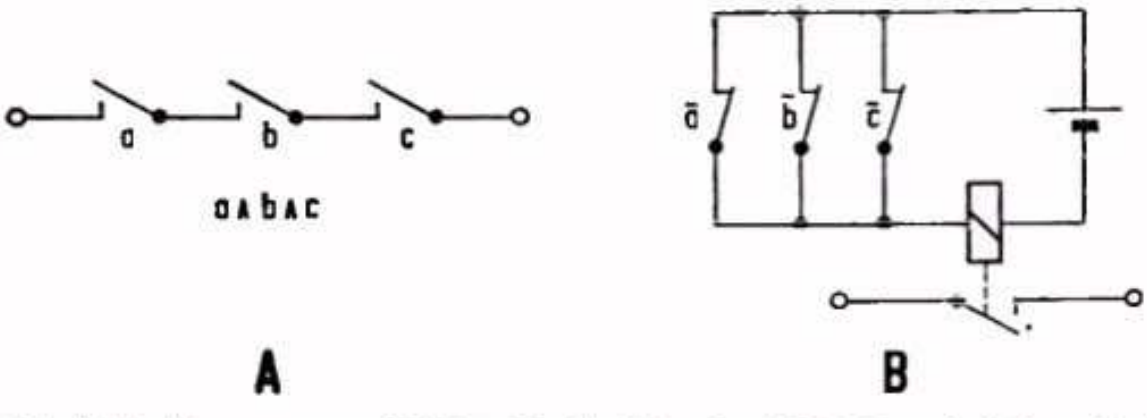


Fig. 55. Schakeling voor een „NOR-verbinding" (ontkend OF). De schakeling *A* is identiek aan de schakeling *B*.

Een serieschakeling van ruststroomcontacten, bijv. $\bar{a} \wedge \bar{b} \wedge \bar{c}$ (fig. 55A) maakt een NOR-verbinding (ontkend OF) mogelijk (samengesteld uit NOT en OR). Identiek is de serieschakeling met een parallelschakeling van werkcontacten, die via een ruststroomrelais een stroomkring openen, wanneer één van de parallelcontacten wordt gesloten. Dus geldt:

$\overline{a + b + c}$ resp. $\overline{a \wedge b \wedge c}$ (fig. 55B)

Uit „NOR" en „NAND-bouwstenen" kunnen alle logische basisschakelingen worden gerealiseerd.

Met een NAND-bouwsteen wordt

a. de zuivere „EN-verbinding" tot $\overline{\bar{a} \wedge \bar{b} \wedge \bar{c}}$

b. de zuivere „OF-verbinding" tot $\overline{a \wedge b \wedge c}$

Met een NOR-bouwsteen wordt

a. de zuivere „EN-verbinding" tot $\overline{\bar{a} \vee \bar{b} \vee \bar{c}}$

b. de zuivere „OF-verbinding" tot $\overline{a \vee b \vee c}$ (fig. 54B)

Nu dient nog een ander toepassingsvoorbeeld van een gecombineerde schakeling te worden verduidelijkt. Een „EN-schakeling" heeft twee contacten, a en b. Het contact b bestaat echter uit de parallelschakeling van de contacten b_1 en b_2, dus het betreft hier een „OF-schakeling". Voor de beide contacten b_1 en b_2 kan worden geschreven:

$$b_1 \vee b_2 \text{ of } b_1 + b_2$$

Voor de totale schakeling geldt:

$$a \wedge (b_1 \vee b_2) \qquad \text{(fig. 56A)}$$

resp. $a \,\&\, (b_1 \vee b_2)$.

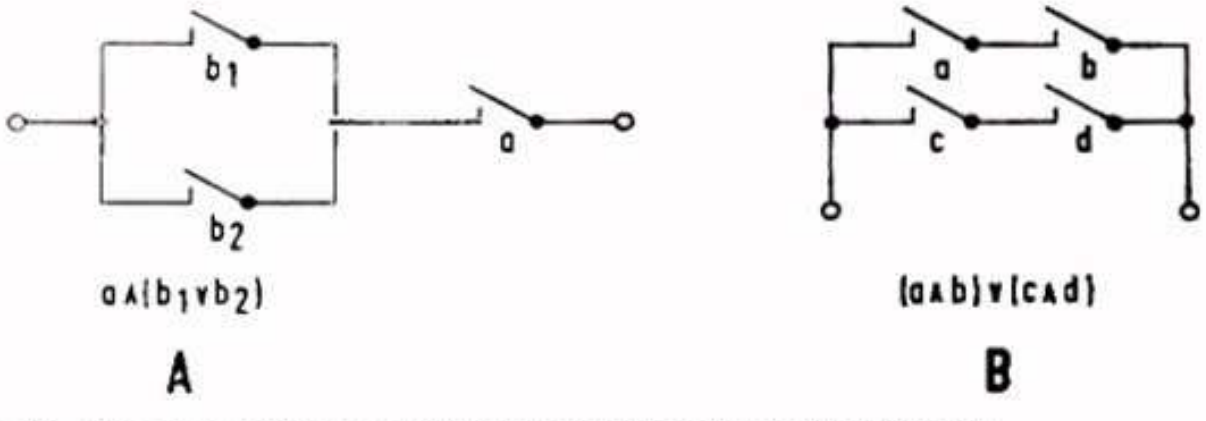


Fig. 56. Twee gecombineerde „EN-OF-schakelingen", die identiek zijn.

Hiermee identiek is een schakeling, die uit twee parallel liggende serieschakelingen bestaat met de contacten $(a \wedge b)\,(c \wedge d)$ resp. $a \cdot b + c \cdot d$ (fig. 56B).

Om duale getallen bijv. te kunnen aftrekken, zoals dit op blz. 27 staat aangegeven, zijn logische schakelingen noodzakelijk, waarmee aan de regels voor het aftrekken van duale getallen (1. O — O = O; 2. O — L = L; 3. L — O = L; 4. L — L = O) kan worden voldaan. Voor de gevallen 1 tot 3

geven OF-schakelingen de juiste verbindingen. Voor het vierde geval is een „EN-NIET-schakeling" noodzakelijk. Twee in serie liggende werkcontacten hebben in de toestand L — L tot gevolg, dat een ruststroomrelais aanspreekt en een stroomkring opent → O. Terwijl voor de gevallen 1 tot 3 de vergelijkingen van de schakelalgebra luiden: $a \vee b$ resp. $a + b$, dient voor het vierde geval te worden geschreven:

$\overline{a \wedge b}$ resp. $\overline{a \cdot b}$ (NAND-verbinding)
(ontkend EN)

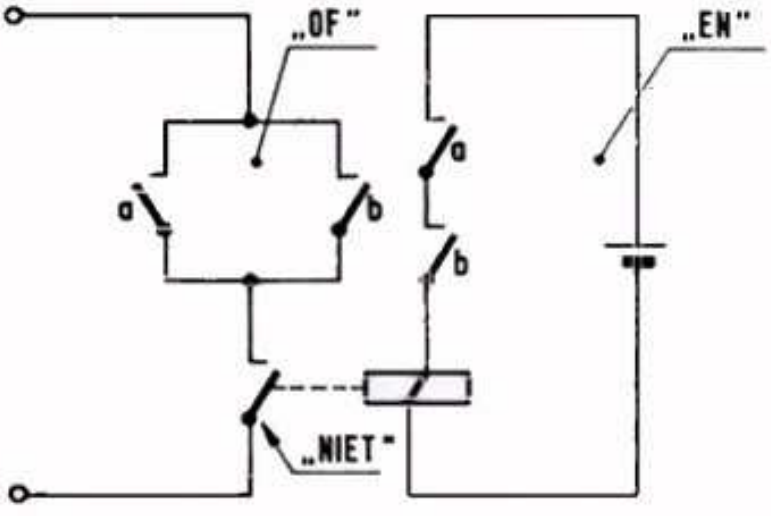


Fig. 57. Een logische schakeling voor rekenoperaties met duale getallen.

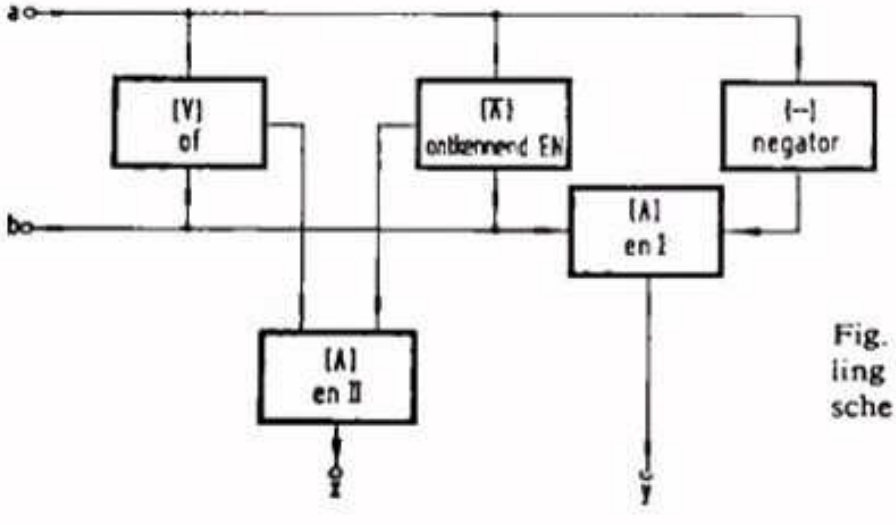


Fig. 58 Opbouw van de schakeling volgens fig. 57 met „logische bouwstenen".

Fig. 57 laat zien, hoe men een dergelijke schakeling met parallel en in serie liggende contacten, alsmede een ruststroomrelais kan opbouwen. Dezelfde schakeling, maar dan met logische bouwelementen uitgevoerd, is in fig. 58 weergegeven.

In de onderstaande opstelling voor het aftrekken van twee duale getallen blijkt voor het geval 3, waarin $a - b = c \triangleq O - L = L$ dient te worden gerekend, de noodzakelijkheid, van de eerstvolgende hogere duale plaats een L (bit) te lenen. Terwijl dus x het resultaat achter de OF-schakeling aangeeft, wordt door y aangegeven, bij welke operatie (geval 2) een L dient te worden geleend. Voor x geldt: $\overline{(a \vee b) \wedge (a \wedge b)}$; voor y: $\bar{a} \wedge b$.

	1.	2.	3.	4.
a	O	O	L	L
b	O	L	O	L
x	O	L	L	O
y	O	L	O	O

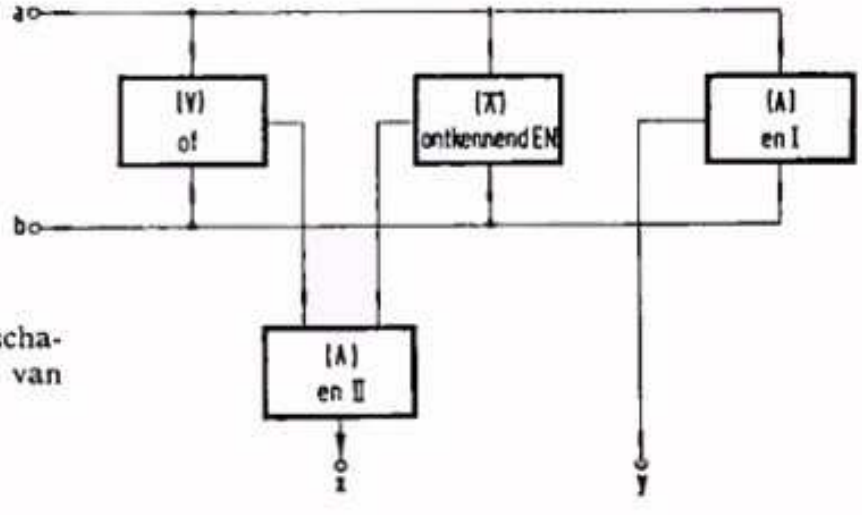


Fig. 59. Opbouw van een schakeling voor de optelling van duale getallen.

Bij een optelling van twee duale getallen verandert enkel en alleen y voor het vierde geval. En wel dient bij L + L = O een L (bit) aan de eerstvolgende hogere duale plaats te worden afgegeven, waardoor de tabel als volgt wordt:

	1.	2.	3.	4.
x	O	L	L	O
y	O	O	O	L

De volgende optelling geeft de tussenresultaten achter de afzonderlijke logische bouwstenen aan.

Optelling: $a + b$

	1.	2.	3.	4.	achter
a	O	O	L	L	
b	O	L	O	L	
	O	L	L	L	OF
	L	L	L	O	ontkend EN
x	O	L	L	O	EN II
	L	L	O	O	ontkend
y	O	O	O	L	EN I

Hoe men „EN-" en „OF-schakelingen" kan combineren is in fig. 60 weergegeven, die een transistor (P-N-P) met n ingangen en een uitgang toont.

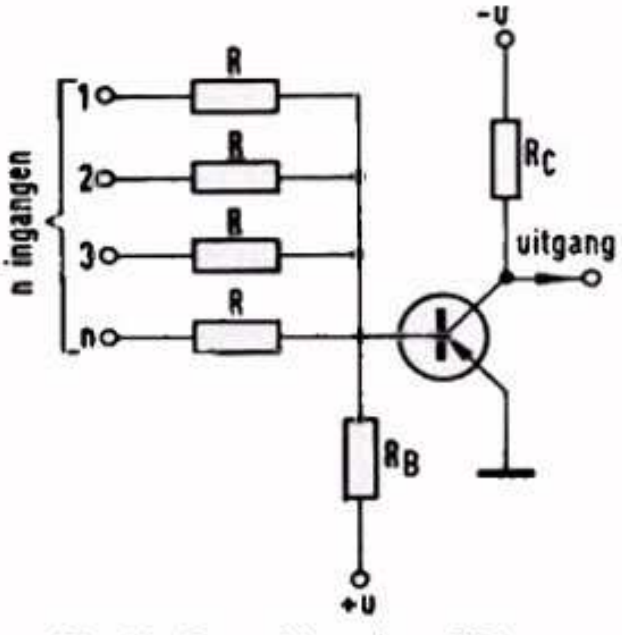


Fig. 60. Gecombineerde „EN-OF-schakeling".

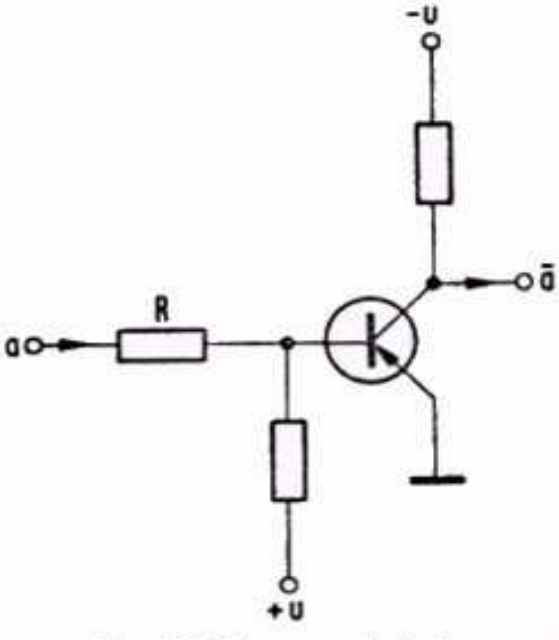


Fig. 61. Negator-schakeling met een transistor.

De binaire ingangssignalen hebben voor de beide toestanden L en O de spanningen $-U_L$ en $-U_O$. Hierbij is $-U_O < -U_L$. De weerstanden R zijn zodanig gedimensioneerd, dat de transistor geleidend wordt (d.w.z. zijn basis wordt t.o.v. de emitter negatief), wanneer m of meer ingangen op de potentiaal $-U_L$ liggen, dus de toestand L hebben en n-m of minder ingangen op de potentiaal $-U_O$ liggen. Hierbij geldt $m \leq n$. Hiervan een voorbeeld: $n = 5$ ingangen; $m = 3$; wanneer aan drie van de vijf ingangen de toestand L heerst, wordt de transistor geleidend. Hij blijft echter niet-geleidend,

wanneer slechts $m - 1$ of minder ingangen de toestand L hebben; m geeft het kleinste aantal aan, waarbij de transistor stroom geleidt. Wanneer in het voorbeeld $m = 2$, dan blijft de toestand O behouden. In dit geval zouden $n - m + 1$ ingangen O hebben.

Het uitgangssignaal aan de collector van de transistor is de geïnverteerde schakelfunctie, dus a (fig. 61).

Voor ingangssignalen a_1 tot a_m is de schakeling een EN-schakeling, waarvoor de volgende uitdrukking geldt:

$a_1 \wedge a_2 \wedge a_m$
bij m 3 wordt $a_1 \wedge a_2 \wedge a_3$ (combinatie I).

Het is echter ook mogelijk, andere combinaties van de ingangen te nemen, wanneer n veel groter is dan m, dus

$a_2 \wedge a_3 \wedge a_4$ (combinatie II)
$a_3 \wedge a_4 \wedge a_5$ (combinatie III) enz.

Het is dus mogelijk, m.b.v. dergelijke combinaties bovendien een OF-schakeling te realiseren, die voor de combinatie I, II en III (enz.) geldt.
Het uitgangssignaal = I $\vee$ II $\vee$ III, of uitvoerig geschreven:

Uitgangssignaal = $(a_1 \wedge a_2 \wedge a_m) \vee (a_2 \wedge a_3 \wedge a_{m+1})$
$\vee (a_3 \wedge a_4 \wedge a_{m+2}) \vee (a_4 \wedge a_5 \wedge a_{m+3}) \ldots$

Andere combinatiemogelijkheden blijken bij het parallel schakelen van verscheidene ingangen.

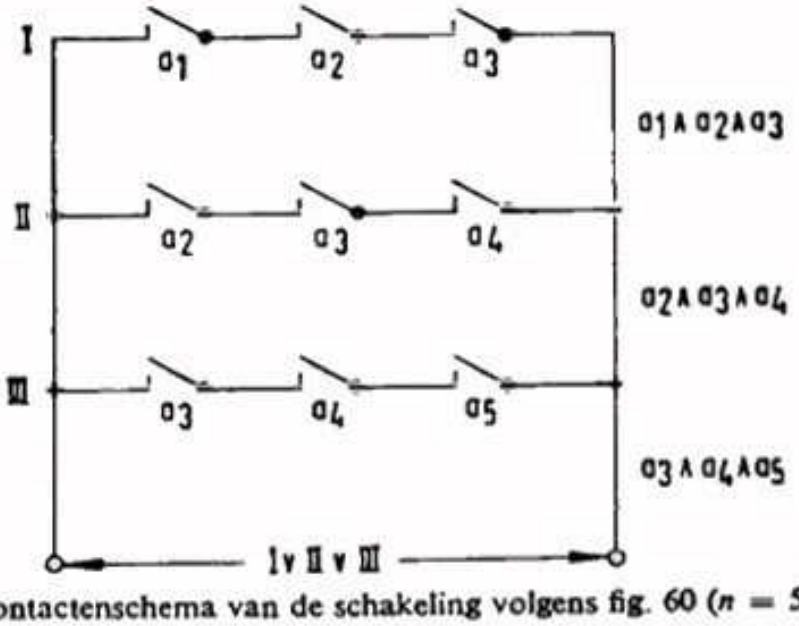


Fig. 62. Contactenschema van de schakeling volgens fig. 60 ($n = 5$, $m = 3$).

HOOFDSTUK 9

CODE-OMZETTERS

Wanneer gecodeerde informaties, die uit binaire tekens bestaan en volgens een bepaald systeem zijn opgebouwd, in een ander systeem moeten worden omgezet, zijn hiervoor code-omzetters noodzakelijk. Het is echter de vraag, of dergelijke omcoderingen wel doelmatig zijn. Zou het niet beter zijn, de apparaten en inrichtingen direct voor een uniforme code te construeren om een dergelijke omzetting te vermijden?

In zeer vele gevallen wordt de principiële eis gesteld, een decimale code in een duale of andere binaire code om te zetten, omdat de werking van veel informatie-verwerkende apparatuur dit vereist. En daarna moet dan weer alles in het normale decimale systeem worden omgezet.

Vele apparaten leveren uitgangsimpulsen volgens het „1 uit 10 code"-systeem; de verdere verwerking van de informaties is echter, in overeenstemming met de werking van de verschillende apparaten en installaties, slechts met een ander code-systeem mogelijk of doelmatig. Om een eenvoudige drukker voor numerieke registratie van gegevens te bedienen is een decimale code doelmatig, waarbij de afzonderlijke impulsen achter elkaar verschijnen. Men zal dus de uitgang van een analoog-digitaal-omzetter, die aan de drukker de digitale informaties dient te leveren, aan de werking van dit registratie-apparaat aanpassen. Wordt echter bovendien nog verlangd, dat de gegevens ook op een lichttableau verschijnen, dan is een omcodering en ook een opname in een geheugen noodzakelijk; dit laatste daarom, omdat de cijfers van het tableau voor de duur van een omzetting gelijktijdig (en niet achter elkaar) moeten oplichten. Code-omzetters zijn dus steeds noodzakelijk, wanneer apparaten en installaties met verschillende coderingen met elkaar dienen samen te werken.

Als voorbeeld wordt aangenomen dat een apparaat, bijv. een analoog-digitaal-omzetter voor een drukker, informaties levert op tien leidingen volgens het decimale systeem, d.w.z., bij iedere leiding behoort een decimaal cijfer 0 tot 9. De code-omzetter moet nu deze eenvoudige code in een „plus-drie-code" (zie blz. 46) omzetten. Fig. 63 toont in vereenvoudigde

vorm de werking van de daartoe noodzakelijke omzetterschakeling. Links bevinden zich de tien aansluitingen voor de binnenkomende leidingen van de analoog-digitaalomzetter.

Bij de leidingen behoren de relais *A* tot *K*. Via de stroombron Ba_1 worden de stroomkringen gesloten. Een stroomstap op een van de tien leidingen heeft een aanspreken van het overeenkomstige relais tot gevolg. Ieder relais heeft verscheidene contacten, die van kleine letters zijn voorzien, zo heeft het relais *A* de contacten a_1 en a_2. Voor de „plus-drie-code" worden vier leidingen gebruikt (B_1 tot B_4). De contacten van de relais vormen voor deze uitgaande leidingen vier „OF-schakelingen" (zie blz. 65). De stroombron voor de uitgangsstroomkringen is Ba_2.

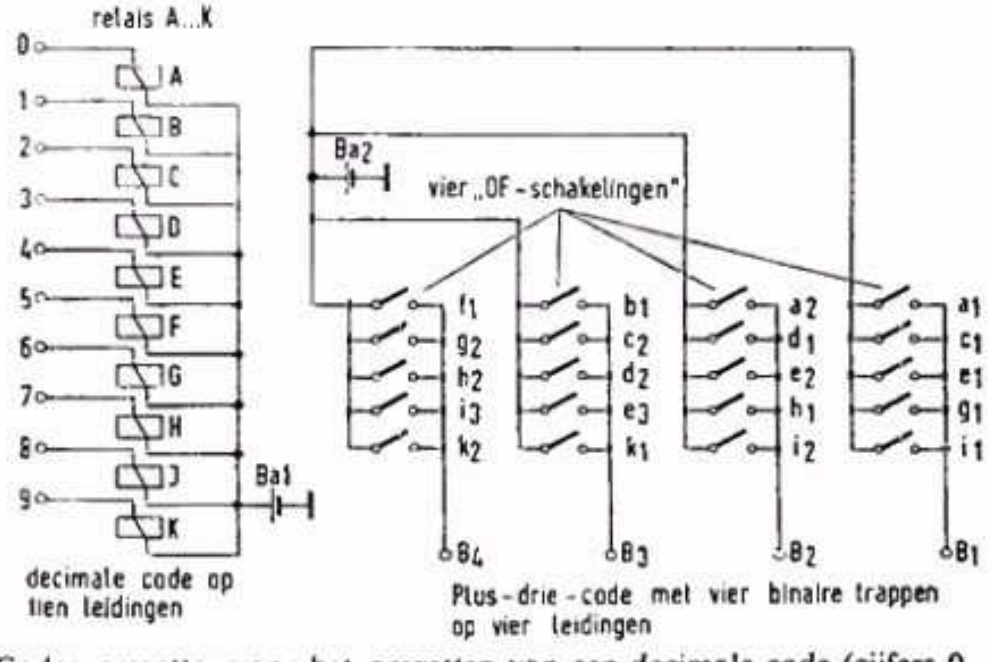


Fig. 63. Codeeromzetter voor het omzetten van een decimale code (cijfers 0. . .9) in een „plus-drie-code". De schakeling werkt met tien relais, heeft tien ingangen en vier uitgangen.

Krijgt nu, om een voorbeeld te noemen, het relais I (cijfer 8) stroom en spreekt dit relais aan, dan worden de bijbehorende contacten gesloten, dus i_1, i_2 en i_3. Daardoor vloeit er via de leidingen B_1, B_2 en B_4 stroom, overeenkomstig de binaire toestand L. Voor de leiding B_3 bestaat de toestand O. Het decimale cijfer 0 wordt overgedragen, wanneer de contacten van het *A*-relais (a_1 en a_2) zich sluiten, waardoor voor B_1 en B_2 de toestand L ontstaat, zoals dit de „plus-drie-code" verlangt. De opstelling in fig. 64 toont

links de cijfers van het decimale systeem, in het midden de binaire getallen, code-woorden van de „plus-drie-code" en rechts de voor de codewoorden bijbehorende relaiscontacten, die bij de L-toestand zijn gesloten.

Een omzetinrichting met relais functioneert relatief langzaam. Grotere snelheden kunnen met buizen, transistors en dioden worden bereikt, die bovendien nog het voordeel bieden, dat zij zonder mechanisch bewegende delen werken.

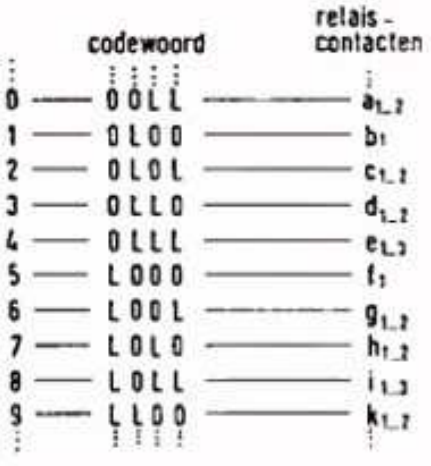

codewoord
relais-contacten
0 — 0 0 L L — a_{L_2}
1 — 0 L 0 0 — b_1
2 — 0 L 0 L — c_{L_2}
3 — 0 L L 0 — d_{L_2}
4 — 0 L L L — e_{L_3}
5 — L 0 0 0 — f_1
6 — L 0 0 L — g_{L_2}
7 — L 0 L 0 — h_{L_2}
8 — L 0 L L — i_{L_3}
9 — L L 0 0 — k_{L_2}

Fig. 64. Samenstelling van de decimale cijfers met de overeenkomstige codewoorden en de relaiscontacten volgens fig. 63.

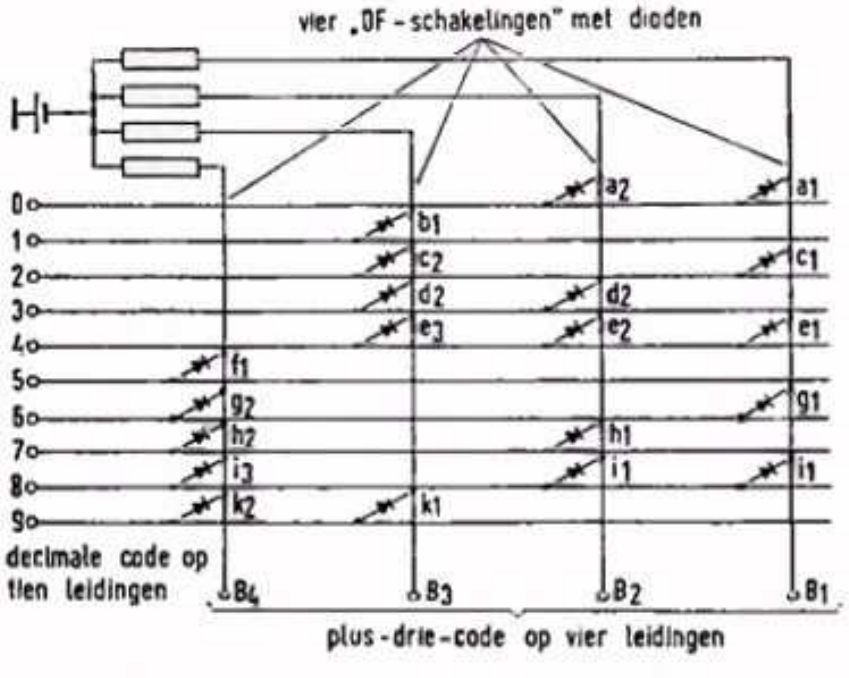


Fig. 65. De codeerschakeling volgens fig. 63 kan ook met dioden worden uitgevoerd. Er ontstaat een diodenmatrix. Het voordeel hiervan t.o.v. de uitvoering met relais is, dat er geen mechanisch bewegende delen aanwezig zijn. Bovendien zijn gewicht en volume veel kleiner.

Fig. 65 toont een code-omzetter met dioden, die in een matrix zijn aangebracht. De omzetter heeft dezelfde taak als die van fig. 63. De vier „OF-schakelingen" bestaan elk uit vier dioden. Moet – om ook hiervoor een voorbeeld te noemen – het decimale cijfer 7 worden omgezet, dan worden de dioden h_1 en h_2 geleidend, d.w.z. de leidingen B_2 en B_4 worden in de toestand L gebracht. De leidingen B_1 en B_3 daarentegen hebben de toestand O.

Dient daarentegen van een binaire code op vier leidingen op de decimale code met tien leidingen te worden omgezet, dan kan de omzetter uit „EN-schakelingen" worden opgebouwd. Dit is begrijpelijk, wanneer men bedenkt, dat voor de parallelle overdracht van een cijfer in een binaire code de toestand L gelijktijdig op verscheidene leidingen aanwezig is, daarentegen op de tien leidingen van het decimale systeem slechts een leiding de toestand L kan hebben. Dat betekent dus voor ieder cijfer van een van de tien leidingen: leiding B_1 en leiding B_2 en leiding B_4 (willekeurig aangenomen) van het binaire systeem.

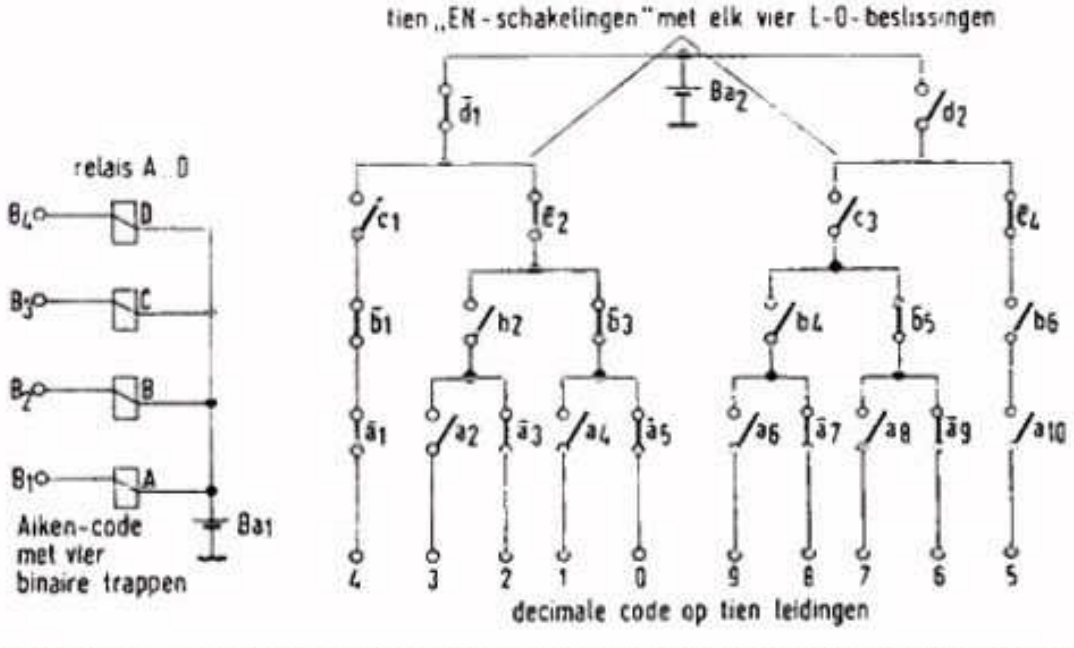


Fig. 66. Codeerschakeling met vier relais voor het omzetten van de Aiken-code in een decimale code. De binnenkomende leidingen zijn $B_1 \ldots B_4$. De decimale code wordt op tien leidingen overgedragen.

Fig. 66 toont een dergelijke inrichting, die zoals de schakeling volgens fig. 63 met relais werkt. Links bevinden zich de vier ingangen B_1 tot B_4. Dit keer dient echter een omzetting van de Aiken-code (zie blz. 46) in het decimale systeem te worden uitgevoerd. De stroomstappen van de code-

woorden laten de relais A tot D aanspreken. De bij de relais behorende contacten zijn rechts telkens op een vlak getekend. Het A-relais heeft bijgevolg de meeste contacten (helemaal onderaan). Van boven naar beneden gezien, zijn er dus in totaal tien „EN-schakelingen" met elk vier ingangen, d.w.z. in dit geval met vier in serie geschakelde contacten. Elke vijf „EN-schakelingen" zijn tot een groep samengevat; vanwege het betere overzicht is dit alles symmetrisch voorgesteld.

In de schakeling volgens fig. 66 zijn alle relais zonder stroom. Om het cijfer 0 over te dragen moet de „EN-schakeling", bestaande uit de contacten a_5, b_3, c_2, d_1, geleidend worden, opdat een stroomkring voor de indicatie van dit cijfer wordt gesloten. Dit is het geval, wanneer alle relais zonder stroom zijn (code-woord 0000). Voor het cijfer 6 zullen de relais A en B stroomloos zijn, de relais C en D daarentegen aanspreken. Dus blijven a_9 en b_5 gesloten, c_3 en d_2 worden gesloten.

Een code-omzetter voor dezelfde opgave, echter als diodematrix is in fig. 67 weergegeven. Links bevinden zich de vier ingangen van de Aiken-code. De toestanden L en O worden door twee leidingen voorgesteld. Voor het decimale cijfer 0 moet de overeenkomstige „EN-schakeling", bestaande uit de dioden 1, 2, 3 en 4, geleidend zijn, alle overige negen „EN-schakelingen" zijn stroomloos. Om het decimale cijfer 6 over te dragen moeten de

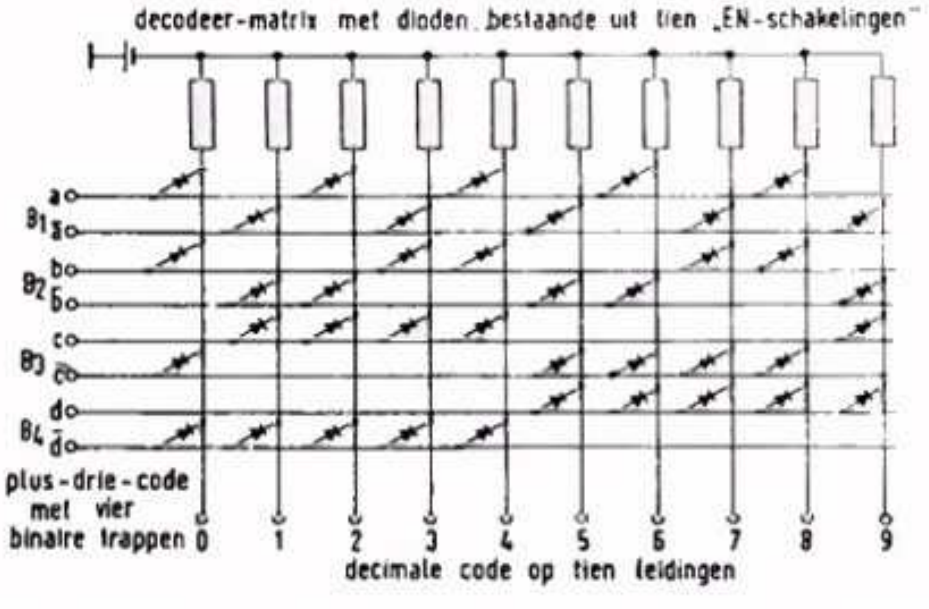


Fig. 67. Codeerschakeling met dioden (diodenmatrix) van de Aiken-code in de decimale code.

dioden I, II, III en IV geleidend worden. Daartoe is het noodzakelijk, de contactstand *a* en *b* te belasten, *c* en *d* echter om te schakelen.

Volledigheidshalve toont fig. 68 nog een overeenkomstige omzetterschakeling (matrix) voor de „plus-drie-code".

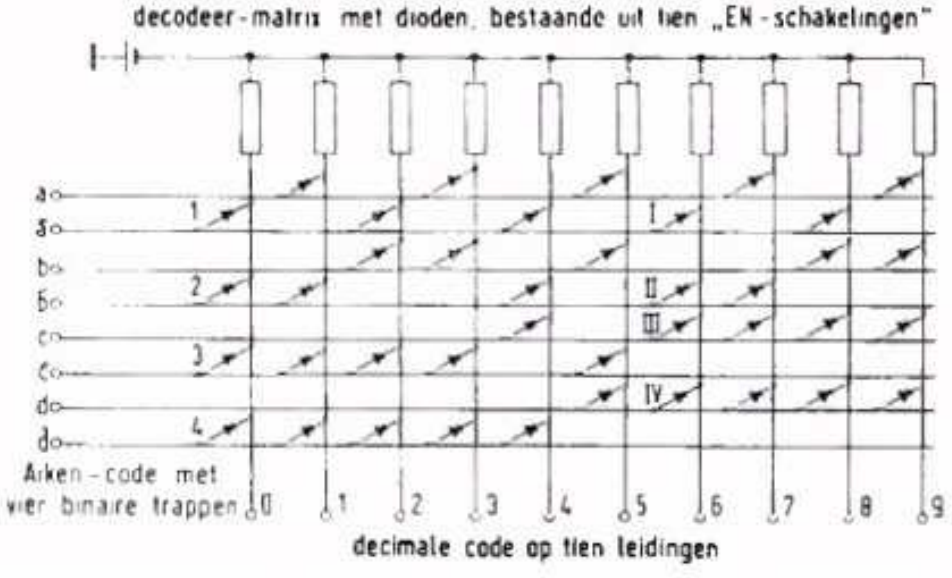


Fig. 68. Codeerschakeling van de „plus-drie-code" in de decimale code.

HOOFDSTUK 10

DIGITALE INFORMATIEGEHEUGENS

De reeds lange tijd bekende informatiegeheugens zijn de ponsband en de ponskaart.* De gegevens worden, overeenkomstig de toegepaste code, als kleine ronde of vierkante gaatjes op bepaalde plaatsen van de kaart resp. het band vastgelegd. De informatie is dan door de aanwezigheid of het ontbreken van bepaalde gaten gegeven. Een ponskaart kan in tegenstelling tot een ponsband slechts een beperkt aantal informaties opnemen. Wordt bijv. duaal gecodeerd en rekent men met 36-bit-woorden (bijv. 4 bit voor de tetrade, 2 bit voor andere doeleinden), dan kan men met 12 regels op de kaart van elk 80 bit lengte in totaal $2 \times 12 = 24$ woorden met elk 36 bit informatie-inhoud onderbrengen.

De meest bekende ponsbanden hebben 8 sporen (kanalen), dus elke kolom heeft 8 mogelijke ponsplaatsen voor de codering van getallen, letters en andere tekens. De vier onderste sporen hebben daarbij de waardigheden 1; 2; 4; 8.

Daarna is de magnetische band verschenen, waarmee men zowel analoge alsmede digitale signalen kan registreren en – wat in de praktijk buitengewoon belangrijk is – deze zo vaak men maar wil, kan „afspelen". Hierbij is zowel amplitude- als frequentiemodulatie (AM en FM) toepasbaar. De gebruikelijke magnetische banden zijn 1,27 cm (1/2") breed en enkele honderden meters lang. Meestal worden 7 sporen geschreven (bijv. voor de „zeven-bit-alfanumerieke code").

De registratie van gegevens is in het bijzonder bij digitale rekenmachines en bij numerieke besturing van arbeidsmachines noodzakelijk. Dit kan enkel en alleen het bewaren tot doel hebben, opdat later de ingevoerde waarden weer ter beschikking staan. Bij rekenmachines is het echter veel vaker noodzakelijk, dat begin- en tussenwaarden geregistreerd moeten worden, opdat de rekenoperatie verder kan gaan. In het algemeen heeft het geheugen tot taak, een informatie onbegrensd te bewaren en deze, wanneer men dit

* H. Hollerith construeerde in 1886 de beroemd geworden ponskaartmachine.

maar wenst, geheel of gedeeltelijk weer af te geven. Ten opzichte van de ponsband en de ponskaart kunnen elektrische geheugens zo vaak men dit wenst worden gebruikt. De oude informatie kan worden uitgewist, waardoor het geheugen voor een nieuwe informatie weer ter beschikking staat. In vele gevallen komen bij elkaar horende informaties niet op hetzelfde ogenblik aan, maar na elkaar. Is het echter noodzakelijk, deze informaties elektronisch met elkaar in verband te brengen, bijv. om een rekenopdracht uit te voeren, dan moet men de na elkaar binnen komende gegevens verzamelen. Loopt de rekenoperatie eenmaal, dan dienen de geregistreerde tussenresultaten op het juiste ogenblik ter beschikking te staan. Ook moet men het resultaat van de rekenoperatie zolang kunnen bewaren, tot het wordt afgelezen. Vinden de rekenoperaties resp. de omzettingen automatisch in een constant terugkerende cyclus plaats, dan moet de registratie van de resultaten telkens in tijd zolang worden gerekt, tot nieuwe resultaten aanwezig zijn.

Aan een registratie worden dus heel speciale eisen gesteld, waarvan de meest elementaire zijn: het invoeren en het afroepen van gegevens dienen met zeer grote snelheid mogelijk te zijn, en de registratie-capaciteit dient zo groot mogelijk te zijn, zonder dat dit al te grote kosten met zich meebrengt.

Een eenvoudige digitale registratie is m.b.v. relais, waarvan de contactposities met de twee mogelijkheden L en O overeenkomen, mogelijk. Maar een dergelijk geheugen is relatief langzaam en is in gewicht, volume, stroomverbruik enz. niet bepaald klein. In beide opzichten zouden flipflops beter zijn, d.w.z. bistabiele multivibratoren, waarmee de toestanden O en L kunnen worden geregistreerd. Maar ook hiervoor zijn aanzienlijk veel transistors noodzakelijk, zodat men naar nieuwe, volledig andere geheugens heeft gezocht, die in het bijzonder klein en licht moesten zijn.

Principieel kunnen drie verschillende geheugensystemen worden onderscheiden:

1. In de structuurgeheugens ontstaat door de informatie een structuurverandering van het registratiemedium, die praktisch van onbegrensde duur is. De registratie op een magnetische band behoort hiertoe, evenals de registratie in ferrietkernen. Naast de buitengewoon kleine afmetingen van deze registratie-elementen en hun minimaal gewicht, bieden zij het voor de praktijk zeer belangrijke voordeel, dat zij hun registratie, d.w.z. hun gedefinieerde remanentietoestand, ook dan behouden, wanneer de stroomverzorging van het apparaat eens zou uitvallen.

2. Het energiegeheugen is in het eenvoudigste geval een condensator, waarvan de lading overeenkomt met een bepaald informatiegehalte. Over een langere tijd gezien is deze registratie slechts mogelijk, wanneer constant nieuwe energie wordt toegevoerd. Bij een langer durende stroomuitval is dit geheugen niet bruikbaar.

3. Terugkoppelingsgeheugens in de aard van flip-flops met twee (of drie) stabiele toestanden werken zeer betrouwbaar en snel. Weliswaar verbruiken de in de schakeling gebruikte buizen en transistors constant stroom. Na een stroomuitval gaat de tevoren ingevoerde informatie verloren, omdat de flip-flops bij het terugkeren van de stroom iedere willekeurige toestand kunnen aannemen.

Hieruit volgt, dat er een duidelijke voorkeur bestaat voor structuurgeheugens. De ferriet-ringkern uit ferroxcube 6 laat schakeltijden van minder dan een microseconde toe. Uit de kleine en lichte ferrietkernen kunnen geheugenmatrices worden samengesteld. Dit zijn kleine kunststofplaten met ferrietkernen en de daarbij behorende bedrading, die tot pakketten kunnen worden samengevoegd.

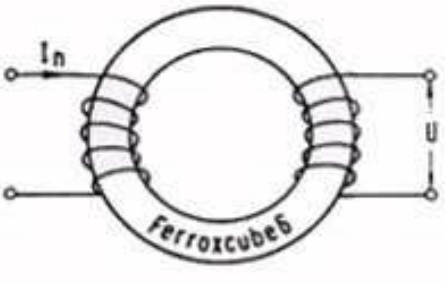


Fig. 69. Ringkern met in- en uitgangswikkeling. De afmetingen van de kernen bedragen slechts enkele mm.

De ferroxcube-ringkern stelt een gesloten magnetische kring voor, zie fig. 69. Met een koperdraad, die door de ring gaat wordt deze gemagnetiseerd, waarbij men tussen een positieve en een negatieve veldsterkte kan kiezen. Na het uitschakelen van de stroom blijft een overeenkomstige remanentie (positief of negatief) achter, die dan de uitdrukking is voor de twee mogelijke toestanden O en L van het binaire telstelsel. Een stroomimpuls $+I$ geeft dan bijv. L en een stroomimpuls $-I$ geeft O. Het uitlezen van deze remanentietoestand geschiedt door een andere draad, de leesdraad.

Het ferroxcube heeft een nagenoeg rechthoekige hysteresislus (zie fig. 70). Een verandering van het veld ($+H$ of $-H$) heeft slechts dan ook een verandering van de magnetische inductie B tot gevolg, wanneer deze met een voldoende sterkte geschiedt. Is de stroom daarentegen zo zwak dat deze slechts $Hm/2$ bereikt, dan gebeurt er niets, de in de kern opgeslagen informatie blijft behouden. De rechthoekige vorm van de hysteresislus maakt de ferroxcube-kernen voor coïncidentie-matrices geschikt.

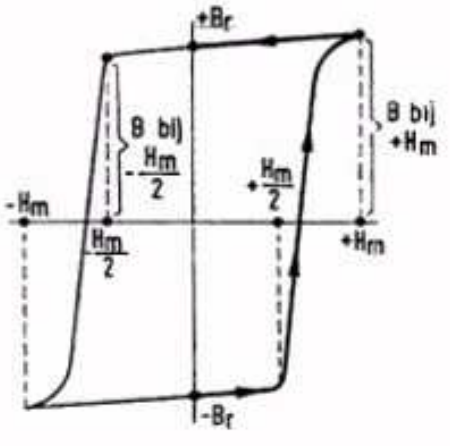


Fig. 70. De nagenoeg rechthoekige hysteresislus van ferroxcube 6.

In een dergelijke matrix zijn de ringkernen in de vorm van een dambord, zowel in verticale als in horizontale regels gerangschikt. Door de X-rij worden X-draden en door de Y-rij, kolommen genoemd, worden de Y-draden getrokken. Worden aan de draden cijfers toegevoegd, dan kunnen in de matrix deze cijfers worden opgeslagen. Loopt bijv. door de X_5-draad een stroom van $Im/2$ en door de Y_8-draad eveneens een stroom van $Im/2$, dan zal in de ferrietring op de kruising van X_5 en Y_8 de stroomsterkte $2 \times Im/2$ optreden en de remanentietoestand $+B$ wordt bereikt. Hierdoor is de informatie in het geheugen opgeslagen. Eerst was de toestand $-B$ aanwezig. De overige kernen, waar doorheen slechts een stroomimpuls $Im/2$ vloeit, veranderen hun toestand niet.

Om een vergelijking met een relais of een flip-flop te maken: de beide toestanden L en O worden door $-B$ en $+B$ voorgesteld, waarbij voor de omschakeling een stroomsterkte van $2 \times Im/2$ noodzakelijk is. Het uitlezen van de informatie uit het matrix-geheugen geschiedt eveneens volgens het coïncidentie-principe. Er worden negatieve impulsen $-Im/2$ door de X- en Y-leiding gestuurd. Heeft nu een ferrietkern de toestand $+$B en komen bij deze kern de stromen $2 \times -Im/2$ samen, dan keert de remanentietoestand in $-B$ om, waarbij een spanningsimpuls wordt geïnduceerd, die dus aan-

geeft, dat in deze kern de toestand L was opgeslagen. Was een O opgeslagen, dan verandert er niets. Een gevraagde ferrietkern bevindt zich dus altijd (onverschillig in welke toestand deze zich voor het vragen heeft bevonden) in een negatieve remanentietoestand $(-B)$.

Hierdoor zou echter de opgeslagen informatie zijn uitgewist, wat niet altijd wenselijk is. Er moet dus voor worden gezorgd, dat in alle kernen, die de toestand $+B$ hebben, waarin dus een L was opgeslagen, na het vragen deze toestand weer wordt hersteld. De kern krijgt een gecoïncideerde regelkolomimpuls en valt daardoor in de oorspronkelijke toestand terug. Opdat echter niet ook de toestanden $-B$ worden veranderd, doet zich een ander probleem voor. Dit probleem wordt m.b.v. de blokkeerdraad opgelost (zie fig. 71). Deze verhindert het ompolen in de kernen, waarin tevoren een O was opgeslagen. Terwijl bij het herstellen van de toestand $+B$ (vereenkomend met L) de blokkeerdraad stroomloos blijft, de desbetreffende kern dus wordt omgemagnetiseerd, krijgt deze bij het schrijven van een O een impuls van de grootte $-Im/2$, zodat de totale impuls op $Im/2$ wordt teruggebracht en de kern in de nulstand blijft.

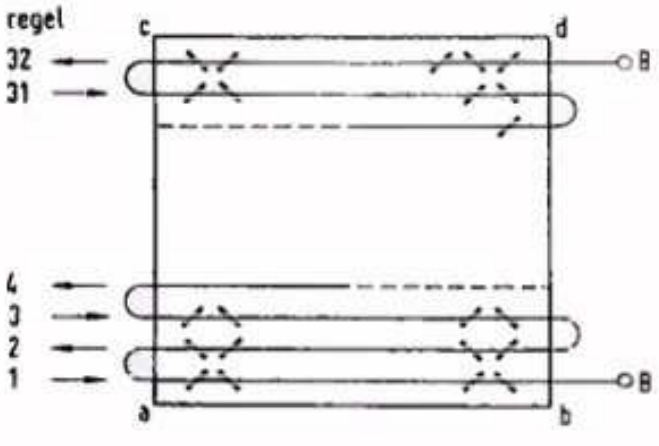


Fig. 71. Verloop van de blokkeerleiding in de ferrietkern-matrix.

Daartoe dient de blokkeerdraad de ferrietkernen in de richting van een negatieve remanentie te magnetiseren. Dat betekent, dat deze tussen de regels moet worden teruggevoerd, voordat deze de volgende regel kan doorlopen. Bij de matrix-eenheden wordt echter de blokkeerdraad direct weer door de volgende regel gevoerd (zie fig. 71). Dit maakt het noodzakelijk, dat de doorlooprichting van de regelimpulsen van regel tot regel dient te wisselen.

De oplossing van dit probleem wordt bereikt, wanneer de even regels van links en de oneven van rechts worden gevoed. Om dan de op een en dezelfde kolomdraad geregen kernen met regelimpulsen van wisselende richting

te kunnen ommagnetiseren moeten de opeenvolgende kernen telkens over een hoek van 90° gedraaid op de regel- en kolomdraden worden geregen, zoals dit in fig. 72 is weergegeven. Ook de leesdraad wordt door alle ferrietkernen van de geheugenmatrix gevoerd en wel in diagonale richting (zie fig. 73).

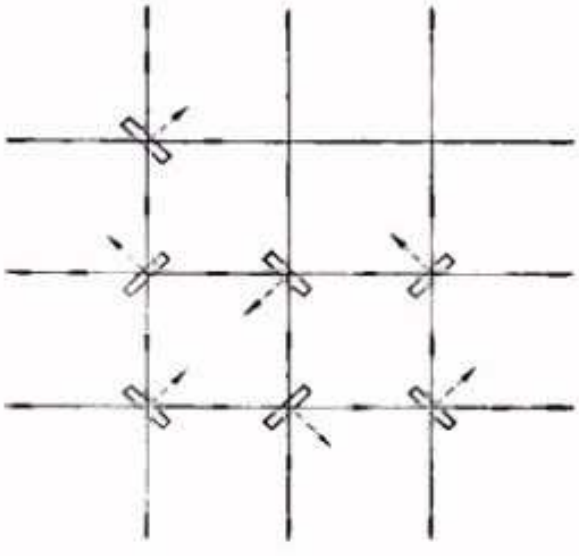


Fig. 72. Ligging van de ferrietkernen op de kolom- en regeldraden van de geheugen-matrix.

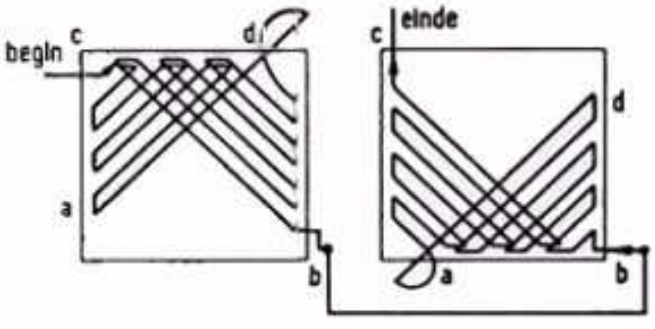
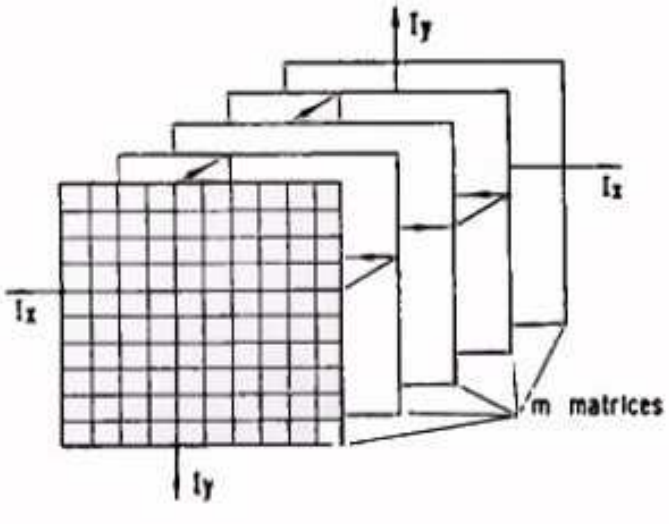


Fig. 73. Verloop van de leesdraad in de matrix.

Fig. 74. Vijf matrices van de vorm van foto 6 zijn tot een geheugen samengevoegd. Worden m matrices met elk n^2-kernen (in foto 6 is $n = 64$) tot een geheugen samengevoegd, dan kunnen n^2 binaire getallen, codewoorden worden opgenomen, die elk uit m binaire cijfers resp. „bits" bestaan.



Worden afzonderlijke matrices tot volledige informatiegeheugens samengesteld (foto 6), dan wordt hierdoor de informatiecapaciteit vergroot. Bestaat bijv. een matrix uit 12 × 13 ferrietkernen, die in duale groepen van elk vier L-O-beslissingen (tetraden), fig. 74, worden gecodeerd, d.w.z. er zijn in totaal vier van dergelijke matrices op deze wijze bijeengeschakeld,

zoals fig. 75 toont, dan kunnen hiermee 12 dertien-cijferige getallen worden opgeslagen. De opslagcapaciteit bedraagt 624 bits. Voor het lezen van een decimaal cijfer zijn dan 13 impulsen nodig, zodat bij een klokfrequentie van 100 kHz een aanspreektijd van 130 μs per cijfer ontstaat.

De efficiëntie van een matrix-geheugen hangt in sterke mate af van het feit, met welke snelheid de informaties kunnen worden opgeslagen en uitgevoerd. De tijd die verstrijkt om een bepaalde ferrietkern van de ene in de andere remanentietoestand „om te schakelen", ligt in de orde van grootte van 1 microseconde.

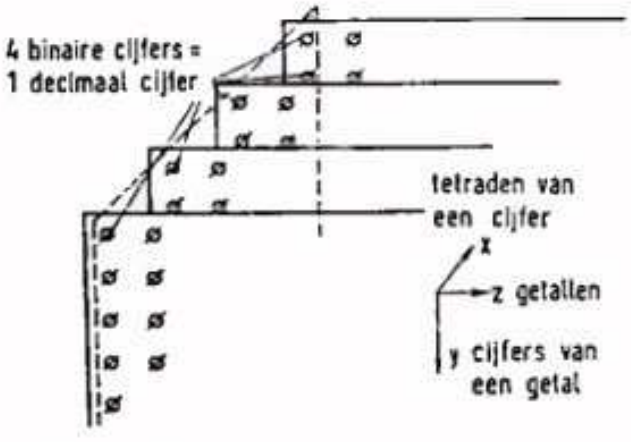


Fig. 75. Vier binaircijfers (bijv. LOOL) komen overeen met een decimaal cijfer. Aan ieder binair cijfer is een matrix toegevoegd.

Een modern geheugen met groot vermogen is bijv. het kryogeen-geheugen. Het apparaat is niet veel groter dan een mensenhand. Het werkt bij een temperatuur van —269 °C (vloeibaar helium). Met vliesgeheugens, die eveneens een zeer geringe ruimte innemen, kunnen schakeltijden in de orde van groote van een milliardste seconde worden bereikt.

HOOFDSTUK 11

DE DIGITALE TELLER PW 4230

Met de PHILIPS teller PW 4230 (foto 7) kunnen impulsen van de meest uiteenlopende aard en vorm worden geteld. Het oplossend vermogen is beter dan 1 μs $\triangleq$ MHz. Er wordt in zeven decaden geteld. Het resultaat komt op een printer. Te zamen met de impulsgenerator PW 4260 kunnen impulsen per tijdseenheid worden gemeten.

Zoals op blz. 29 werd uiteengezet, zijn er verschillende soorten telschakelingen. In de regel worden bistabiele multivibratoren gebruikt. Dient de telling binair-decadisch te geschieden, d.w.z. na iedere tiende impuls moet bij vier binaire trappen (die te zamen tot 16 tellen) een uitgangsimpuls verschijnen, dan is een terugkoppeling noodzakelijk, zoals in fig. 20 is weergegeven. Voor een decadische cijferindicatie zijn verder nog omcodeerschakelingen noodzakelijk (bijv. een omcodeer-matrix) zoals deze op blz. 78 werden beschreven.

Bij de teller PW 4230 wordt evenwel de biquinaire telmethode toegepast. De schakeling bestaat uit een binaire reductor aan de ingang, die een uit

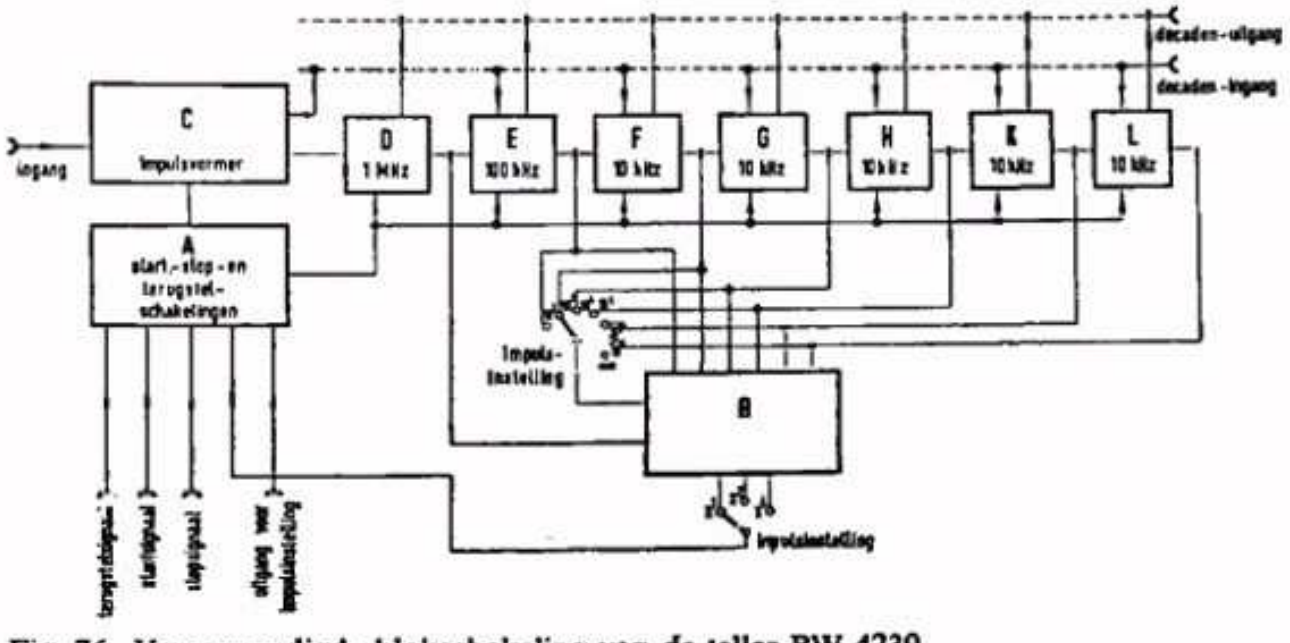


Fig. 76. Vereenvoudigde blokschakeling van de teller PW 4230.

vijf trappen bestaande reductor, de quinaire reductor, stuurt (zie fig. 76). Met biquinaire (of ook quibinaire) tellers kan men met een relatief eenvoudige schakeling en geringe kosten vooruit- en achteruit-tellen. Bij elk decimaal cijfer behoort een binair getal met zeven cijfers, welke constante waarden hebben. Ieder binair getal heeft 3 bit redundantie (vgl. blz. 43), omdat slechts 4 bit voor de voorstelling van de cijfers 0 . . . .9 noodzakelijk zijn. Deze overbodige 3 bit worden voor de foutenidentificatie gebruikt, de binaire getallen worden daartoe bovendien gecontroleerd, of zij vijf O en twee L bevatten.

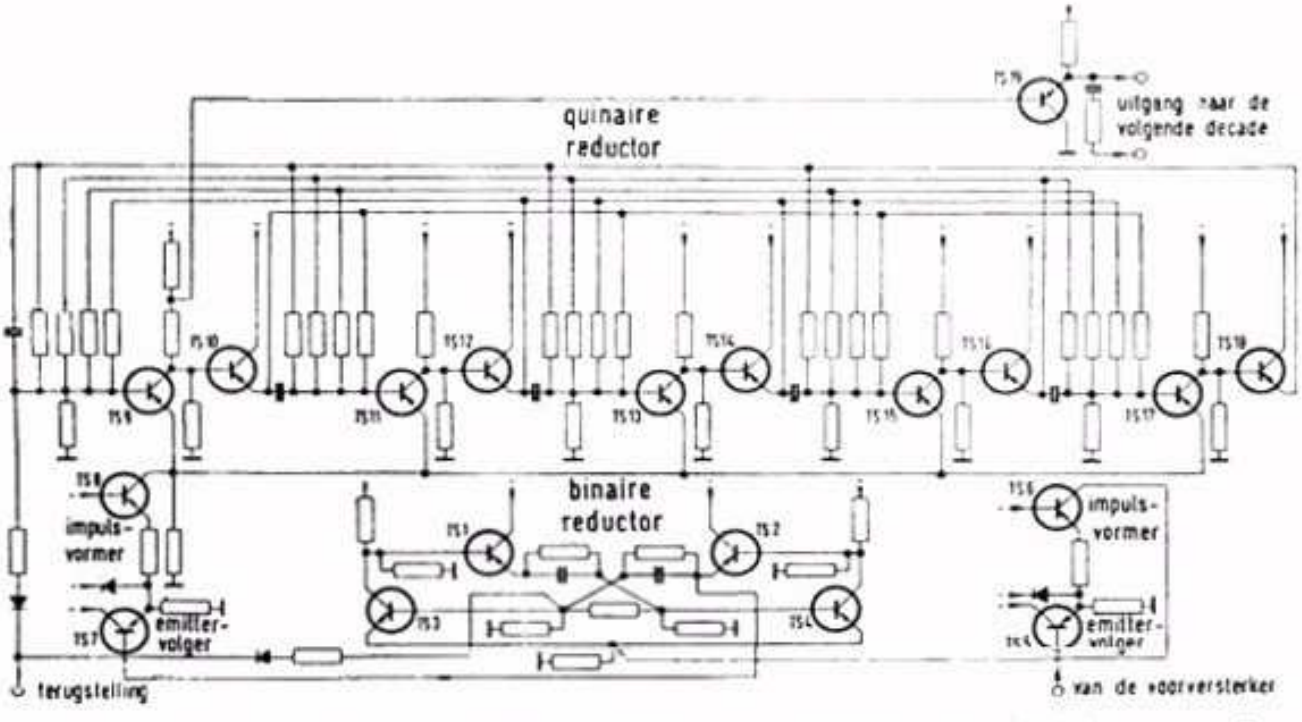


Fig. 77. Schakeling van de snelste decade (1 MHz). Alle decade-telschakelingen werken volgens het biquinaire telsysteem.

De verbinding van de schakeltoestand van de binaire trap met de binnenkomende telimpulsen geschiedt d.m.v. „EN-schakelingen". De cijferidentificatie vereist per decade tien „EN-schakelingen", die de schakeltoestand van de binaire en de quinaire trap laten zien. De uitgangsimpulsen van de binaire reductor komen via een leiding op alle emitters van de transistors van de quinaire reductor. De eerste binnenkomende impuls blokkeert de tot dusver geleidende transistor van de eerste quinaire trap. Principieel is steeds slechts een transistor van de quinaire reductoren geleidend. Hierbij ontstaat een andere impuls, die de transistor van de daarop volgende quinaire trap geleidend maakt. De binaire reductor levert dus de doorschakel-

impulsen voor de quinaire reductor (vgl. ook fig. 77). Het impulsschema (fig. 78) toont de samenwerking tussen de binaire en de quinaire reductor.

In fig. 76 is het principeschema van de teller weergegeven. De ingangsimpulsen komen in de eenheid *C*, de impulsvormer. Hier worden impulsen van gelijkblijvende vorm opgewekt. Deze lopen allereerst door een amplitudebegrenzer, om de transistors tegen overspanningen te beschermen. Daarna schakelen zij een Schmitt-trekker in. Tussen deze en de eerste decade van de tellerschakeling bevindt zich een emittervolger als impedantieomvormer alsmede een eentraps-versterker.

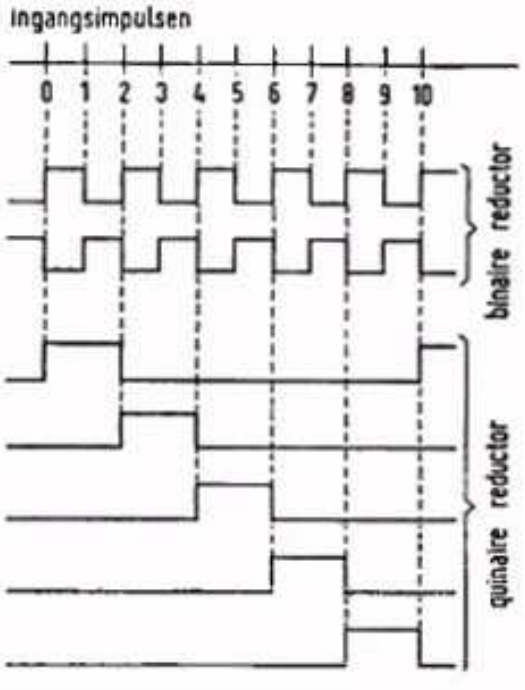


Fig. 78. Principe van de werking van een biquinaire teller.

Aan de ingang van de eerste decade (eenheid *D*; 1 MHz) bevindt zich een emittervolger TS_5 (fig. 77) gevolgd door een impulsvormer, die naaldvormige impulsen voor de bistabiele multivibrator (TS_1, TS_2, TS_3, TS_5) opwekt. Deze flip-flop-schakeling is van twee emittervolgers voorzien, (onderlinge koppeling van collector en basis), door welke de schakeling „sneller" wordt (vgl. blz. 8). De uitgangsimpuls van de binaire reductor komt weer via een impulsvormer en een emittervolger op de quinaire reductor. Ook hier zorgt de lage impedantie van de emittervolger voor een snellere werking.

De tweede decade is een 100 kHz-decade; alle andere staan telsnelheden tot 10 kHz toe. De afzonderlijke decaden geven voor iedere tiende ingangsimpuls een uitgangsimpuls af, die de volgende decade stuurt.

Is een telperiode beëindigd, dan worden de decaden met een negatieve terugstelimpuls in nul-stand gebracht en de telling kan opnieuw beginnen.

Enkele technische gegevens

Ingangs-(tel-)impulsen	0,5 V amplitude, negatief of positief
Ingangsimpedantie	3 kΩ parallel aan 100 pF
Toelaatbare overbelasting	20 V
Breedte van de telimpuls	minimaal 0,2 μs maximaal 5 ms
Oplossend vermogen van de teller	1 μs ≙ 1 MHz
Telsnelheid	1 MHz
Aantal decaden	7
Grootste opslagcapaciteit	$10^7 - 1$ bit
Impuls-voorinstelling	1 × 2 × 4 × } 10^2, 10^3, 10^4, 10^5, 10^6, 10^7
Controle	intern met dubbele netfrequentie extern met een bekende frequentie
Vereiste stuurimpulsen	start-stop-terugstelling amplitude: 5 V negatief stijgtijd: < 3 μs breedte: > 20 μs ingangsimpedantie: > 2 kΩ
Impuls-voorinstel-signaal	amplitude: 5 V negatief stijgtijd: < 2 μs breedte: > 20 μs uitgangsimpedantie: < 100 Ω
Decade-uitgangssignaal	iedere decade geeft een signaal van +5 V af, wanneer de tiende ingangsimpuls is aangekomen. stijgtijd: 1 μs.

HOOFDSTUK 12

DIGITALE METING VAN HET TOERENTAL EN DE OMTREKSNELHEID

Een digitale toerentalmeting kan m.b.v. een elektronische teller geschieden, die gedurende een gedefinieerde tijd impulsen telt (vgl. blz. 29), welke een meetwaarde-omvormer levert. Aan de meetwaarde-omvormer worden geen speciale eisen gesteld, deze kan elektromagnetisch of ook foto-elektrisch werken. Foto 9 toont een elektromagnetische opnemer, die voor dit doel goed geschikt is.

De meting aan de as geschiedt contactloos, wat in vele gevallen van grote waarde is. Op de as worden of trekker-staafjes aangebracht, of men neemt een tandwiel, waarvan de tanden langs de opnemer glijden. Vaak kiest men ook een foto-elektrisch systeem; hierbij doen zwart-wit-markeringen, die op de as zijn aangebracht, de telimpulsen ontstaan. Bovendien is er nog een aantal impulsvormers, die óf contactloos werken, óf gekoppeld dienen te worden.

De digitale meetinrichtingen voor de meting van het toerental en de omtreksnelheid worden uit standaardapparatuur samengesteld. De inrichting bestaat uit zelfstandig werkende eenheden, die ook voor andere meetopgaven (bijv. in de stralingsmeettechniek) kunnen worden gebruikt. Ook is het mogelijk, de desbetreffende combinatie van apparaten met andere functie-eenheden te completeren. Als teller wordt de 7-decaden-teller met een indicatie van oplichtende cijfers (PW 4231) toegepast (vgl. hoofdstuk 11). Daar de impulsen tijdens een gedefinieerde tijd moeten worden geteld, is bovendien nog een tijdeenheid vereist (PW 4260). Dit apparaat werkt met een 10 kHz-kwartskristal. In totaal biedt het 15 verschillende mogelijkheden van voorinstelling van de tijd.

a. meting van het toerental

De principiële meetopstelling voor een toerentalmeting is in fig. 79 weergegeven. Op de tijdeenheid wordt bijv. 1 minuut ingesteld. Daardoor blijft de poortschakeling voor deze duur geopend en laat de door de impuls-

vormer binnenkomende telimpulsen (trekker-impulsen) door; deze komen bij de digitale teller. Wordt bij een omwenteling van de as een enkele impuls gevormd, (één trekker-staafje, één tand, één markering), dan geeft de teller direct het toerental per minuut aan. Dient daarentegen de meettijd te worden verkort, dan dient het aantal impulsen per omwenteling te worden vergroot.

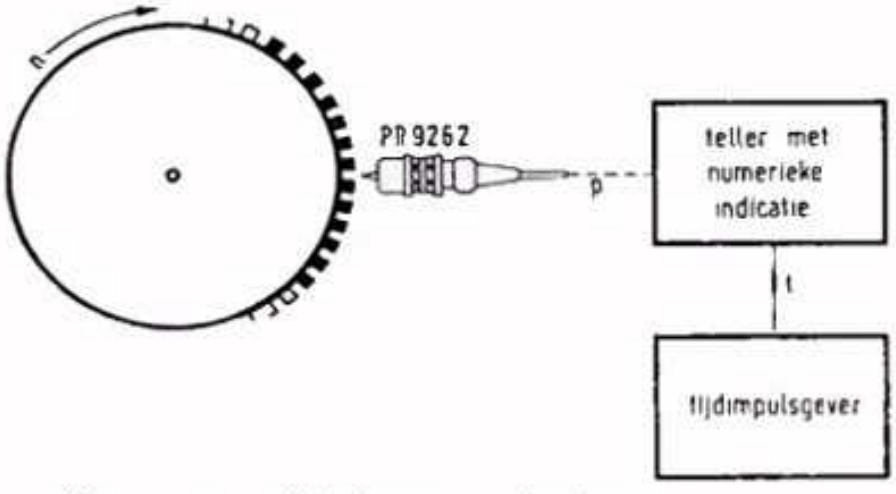


Fig. 79. Meetopstelling voor een digitale toerentalmeting.

Bij zes impulsen kan de openingstijd van de poortschakeling tot 10 seconden en bij 60 impulsen tot 1 seconde worden teruggebracht. Een dergelijke telling is tot $\pm$ 1 impuls nauwkeurig. Om de meetfout zo gering mogelijk te houden is het aan te bevelen, met een zo hoog mogelijk aantal impulsen per omwenteling van de as te werken. Worden bijv. 6 impulsen/omwenteling geleverd, en heeft de as een toerental van 1000 omw./min, dan bedraagt de meetfout bij een meettijd van 10 s max. $\pm$ $1^0/_{00}$.

De rekenkundige principes van de toerentalmeting zijn vrij eenvoudig. Het aantal impulsen N, die tijdens de meettijd t worden gemeten, kan volgens de vergelijking $N = n \cdot p \cdot t$ worden bepaald. Hierin is n = toerental (omwentelingen/minuut), p = aantal impulsen per omwenteling. Uit het gemeten aantal impulsen N kan het toerental n worden bepaald:

$$n = \frac{N}{p \cdot t}$$

Wordt nu $\frac{1}{t \cdot p} = 1$ gekozen, dan wordt de vergelijking vereenvoudigd tot $n \triangleq N$, d.w.z. het aangegeven aantal impulsen is gelijk aan het toerental per minuut. Bij $p = 60$ en $t = 1/60$ min $= 1$ s is aan deze voorwaarde voldaan.

b. meting van de omtreksnelheid

Via een meting van het toerental n kan bij een bekende diameter van het wiel d ook de omtreksnelheid v worden gemeten. De meetopstelling is in fig. 80 weergegeven, en deze komt overeen met die van fig. 79. De vergelijking voor de omtreksnelheid is $v = n \cdot d \cdot \pi$, waarbij $d \cdot \pi$ de omtrek van het wiel is. Wordt deze vergelijking volgens v omgevormd, dan blijkt:

$$v = \frac{N \cdot d \cdot \pi}{p \cdot t}$$

Stelt men in deze vergelijking $\frac{d \cdot \pi}{p \cdot t} = 1$, dan wordt de vergelijking vereenvoudigd tot $v \triangleq N$. De digitale teller geeft dan direct de omtreksnelheid v in m/min aan. Daar de diameter van het wiel d meestal bekend is en ook voor de meettijd slechts kleine bepaalde waarden kunnen worden ingesteld,

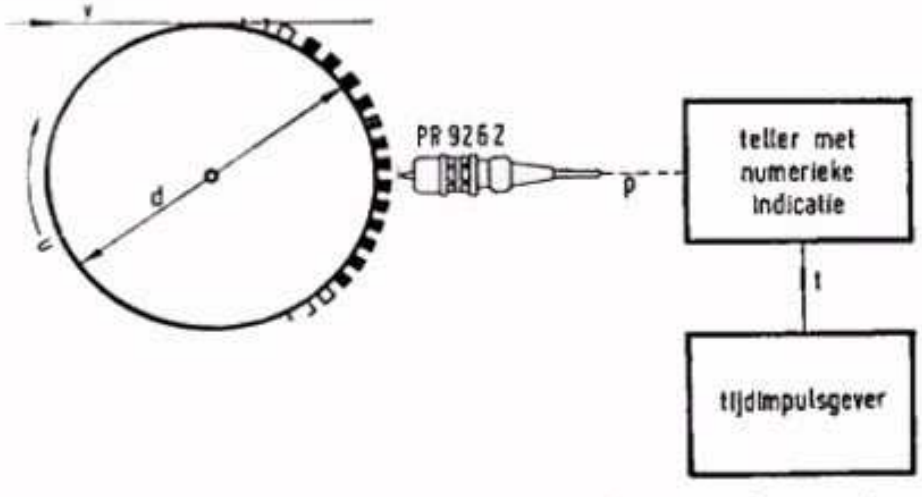


Fig. 80. Meetopstelling voor een digitale meting van de omtreksnelheid.

is het door een berekening van het aantal impulsen p, d.w.z. door een bepaling van het aantal markeringen op de as, mogelijk, aan deze voorwaarde te voldoen.

Hiervan een voorbeeld: $\pi = 3{,}14$, $d = 25{,}5$ cm $= 0{,}255$ m, $t = 1$ $s = 1/60$ min.

$$p = \frac{d \cdot \pi}{t} = \frac{0{,}255 \cdot 3{,}14}{1/60} = 0{,}8 \cdot 60 = 48$$

impulsen per omw. $\triangleq$ 48 trekker-staafjes resp. tanden resp. markeringen.

c. meting van het relatieve snelheidsverschil

De meetschakeling voor het bepalen van de procentuele snelheidsafwijking is in fig. 81 weergegeven. Hiervoor zijn twee digitale tellers nodig, van welke de ene – zonder lichtindicatie – werkt met een impuls-voorinstelling. Zodra het vooraf ingestelde aantal impulsen is bereikt, geeft deze teller aan de tweede teller, die van een indicator is voorzien, een stopteken, zodat ook de telling hiervan wordt gestopt. De indicator moet het procentuele verschil Δp aangeven. Dergelijke metingen zijn – om een voorbeeld te noemen – bij de papier- en plasticindustrie van belang, om de aandrijving van de transportwalsen nauwkeurig op elkaar af te stemmen, daar anders het materiaal onder bepaalde omstandigheden aan een ontoelaatbaar grote rek wordt onderworpen.

$$\Delta p = \frac{\Delta v}{v} \cdot 100 \text{ resp. } \frac{v_2 - v_1}{v_1} \cdot 100\ (\%)$$

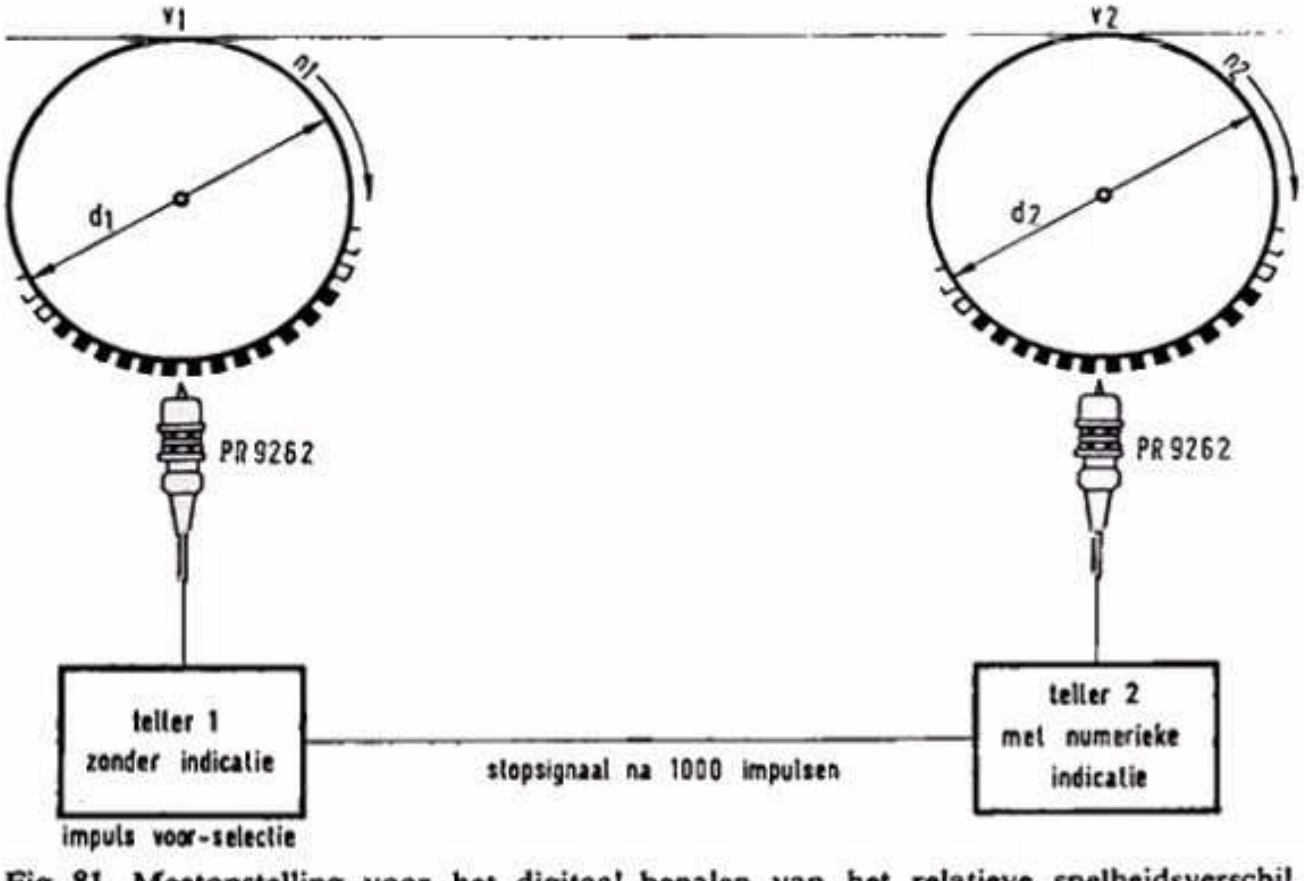


Fig. 81. Meetopstelling voor het digitaal bepalen van het relatieve snelheidsverschil.

Voor de omtreksnelheden v_1 en v_2 gelden de volgende vergelijkingen

$$v_1 = \frac{N_1 \cdot d_1 \cdot \pi}{p_1 \cdot t_1} \quad \text{en} \quad v_2 = \frac{N_2 \cdot d_2 \cdot \pi}{p_2 \cdot t_2}$$

Om een directe indicatie van het procentuele verschil te verkrijgen moet ervoor gezorgd worden, dat $\frac{d_1}{p_1} = \frac{d_2}{p_2} = 1$ is. Worden aan de teller 1 $N_1 =$ 1000 impulsen vooraf ingesteld, dan wordt de vergelijking:

$$v_1 = \frac{(N_2 - N_1) \cdot 100}{N_1} = \frac{(N_2 - 1000) \cdot 100}{1000} = \frac{N_2 - 1000}{10} \ (\%)$$

Bij $t_1 = t_2$ en $0 \triangleq \Delta p < 100\%$ geeft de teller 2 impulsen tussen 1000 en 1999 aan. Worden er geen duizend aangegeven en voegt men tussen de eenheden en tientallen een komma, dan wordt het verschil in procenten aangegeven.

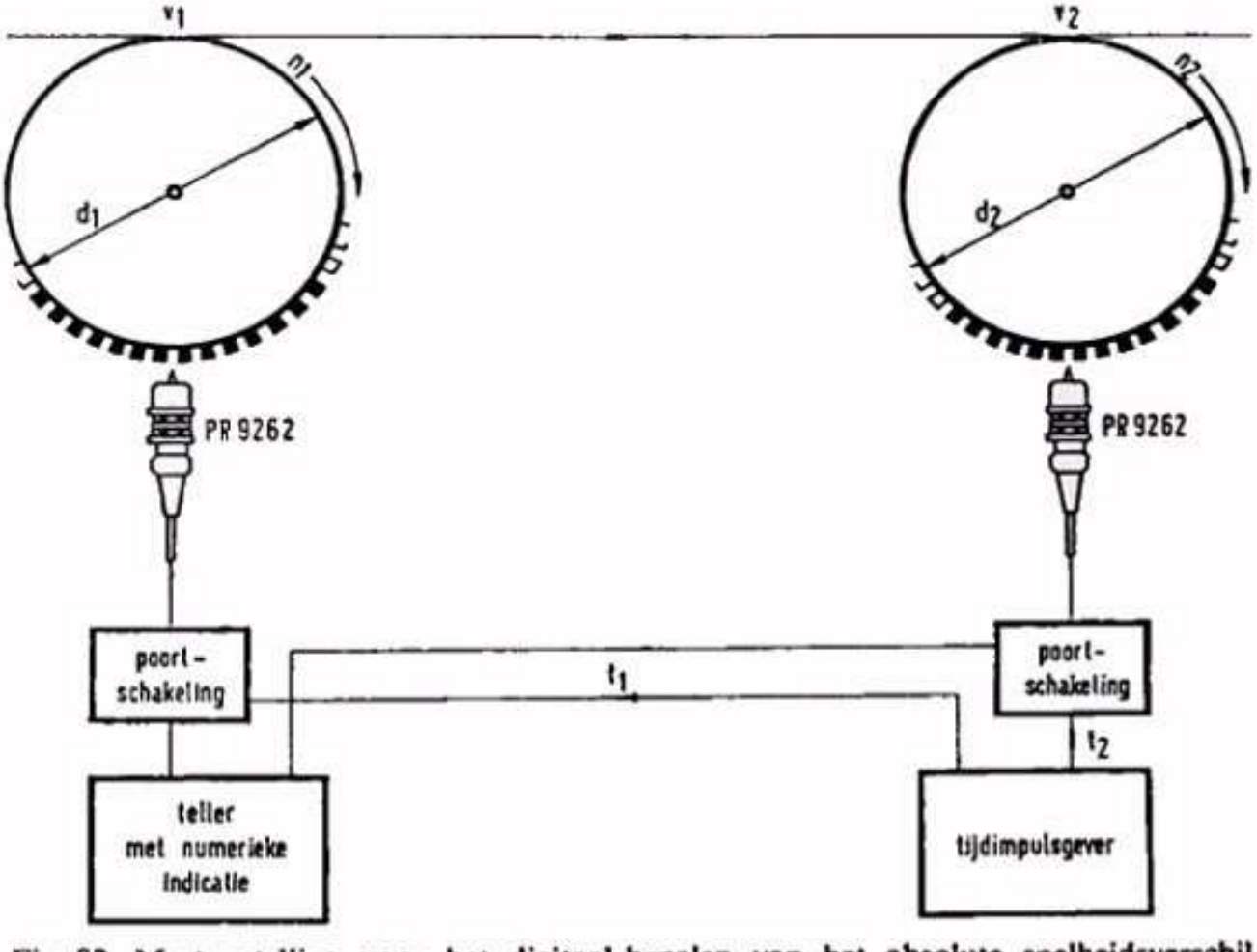


Fig. 82. Meetopstelling voor het digitaal bepalen van het absolute snelheidsverschil. $\Delta v = v_2 - v_1$.

d. meting van het absolute snelheidsverschil

In fig. 82 is de meetopstelling weergegeven. Gemeten wordt het absolute snelheidsverschil, dus $\Delta v = v_2 - v_1$. De indicator van de teller dient direct de waarde in m/min aan te geven. Gedurende de meettijd t_2 worden de impulsen vanaf de opnemer 2 aan de teller in voorwaartse richting toegevoerd. Daarna worden de impulsen van de opnemer 1 gedurende de meettijd t_1 van de in de teller aanwezige informatie afgetrokken. Wordt

$$\frac{d_1 \cdot \pi}{p_1 \cdot t_1} = \frac{d_2 \cdot \pi}{p_2 \cdot t_2} = 1$$

gekozen, dan kan de vergelijking worden teruggebracht tot

$$v = v_2 - v_1 = \frac{N_2 \cdot \pi \cdot t_2}{p_2 \cdot t_2} - \frac{N_1 \cdot \pi \cdot d_1}{p_1 \cdot t_1} = N_2 - N_1$$

HOOFDSTUK 13

DE ANALOOG-DIGITAAL-OMZETTER PT 3000

De omzetter PT 3000 maakt de digitale voorstelling van een gelijkspanning mogelijk. De voor het digitaliseren vereiste tijd is korter dan 1 ms. Het omzetproces wordt door een van buiten af toegevoerde impuls bewerkstelligd; de herhalingsfrequentie van deze vraagimpulsen mag max. 1000 Hz bedragen. Het ingangsspanningsbereik bedraagt normaliter 0···+ 10 V; ook zijn grotere meetbereiken mogelijk. Fig. 83 toont een vereenvoudigd voorbeeld van een analoog-digitaal-omzetting. Dit apparaat is voor snelle operaties geschikt, zoals bijv. in de multipel-meettechniek, waar in een zo kort mogelijke tijd een groot aantal meetplaatsen beurtelings worden afgevraagd (tijdmultiplex).

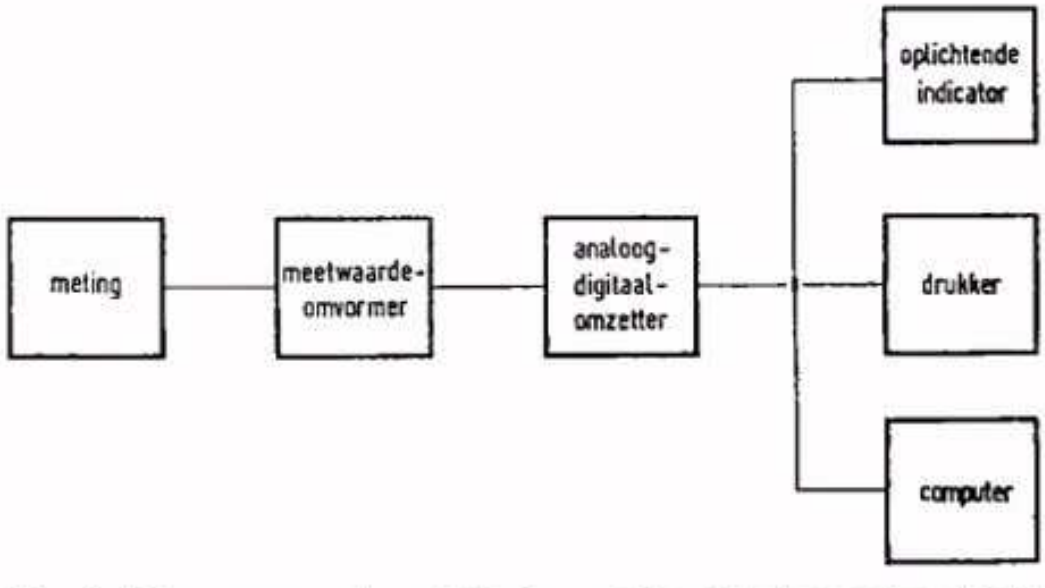


Fig. 83. Voorbeeld van een analoog-digitaal-omzetting. Is het meetsignaal te klein voor omzetting, dan moet een lineaire versterker worden tussengeschakeld.

Alle schakelfuncties binnen het apparaat worden door transistors uitgevoerd; elektronenbuizen of beweegbare contacten worden niet gebruikt. Een grote nulpuntstabiliteit en een verregaande lineariteit zorgen voor een vermindering van fouten van de waarden van de laatste binaire plaats

(dit komt overeen met ca. 0,1 %). Dit geldt voor een temperatuurinterval van 10 °C en netspanningsvariaties van ± 10%. De standaarduitvoering levert een 10-bit-uitgangssignaal in de duale code. Er zijn ook uitvoeringen leverbaar met BCD-code en wel een 8-bit-uitvoering (oplossend vermogen 1/100) en een 12-bit-uitvoering (oplossend vermogen 1/1000).

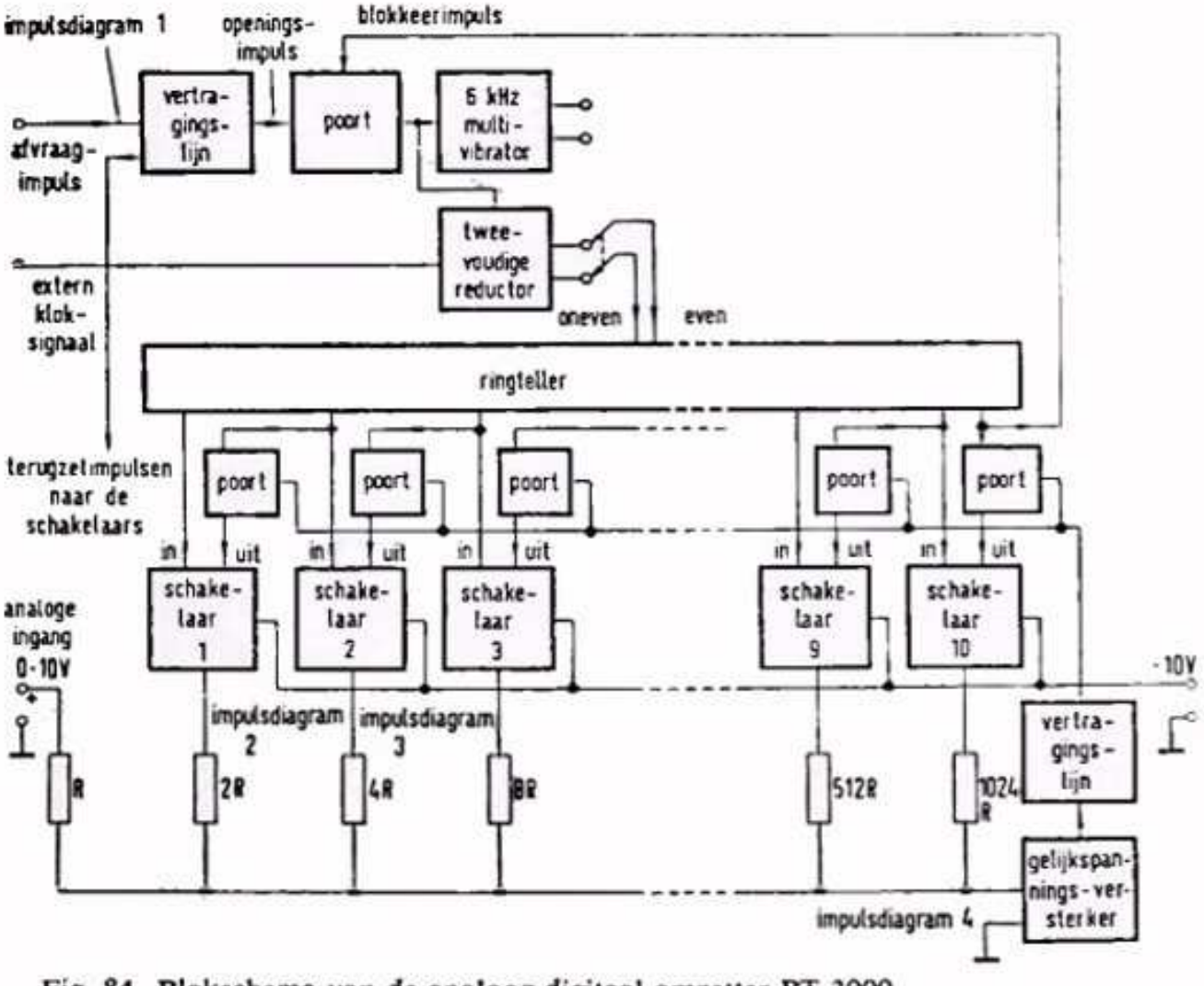


Fig. 84. Blokschema van de analoog-digitaal-omzetter PT 3000.

De analoog-digitaal-omzetter bestaat in principe uit 10 (of 12) flip-flops, die door een ringteller na elkaar worden getriggerd. Iedere flip-flop stuurt een transistorschakelaar, die op zijn beurt weer een geijkte weerstand aan een uiterst constante 10 V-spanningsbron aansluit.

De vrije uiteinden van de 10 (resp. 12) geijkte weerstanden zijn via een sterpunt tot de zgn. „somleiding" samengevoegd. Aan deze somleiding is via een weerstand van 5 kΩ ook de analoogsignaal-ingangsklem aangesloten

(zie fig. 84). Tijdens het digitaliseren bewerkstelligt nu een logische schakeling een bepaalde combinatie van geijkte weerstanden, die geschikt is, in het sterpunt een negatieve stroom te laten vloeien, die de uit het analoge ingangssignaal en de weerstand R resulterende positieve stroom juist compenseert. In deze toestand wordt de potentiaal van de somleiding nul.

De eerste geijkte weerstand, die met de spanningsbron met een constante spanning van 10 V wordt verbonden, heeft een waarde van 10 kΩ; indien de analoge ingangsspanning groter is dan 5 V ontstaat op de somleiding een positieve potentiaal.

Is daarentegen de analoge ingangsspanning lager dan 5 V, dan neemt de somleiding een negatieve potentiaal aan (voor $R = 5\ \Omega$). De potentiaal van de somleiding wordt versterkt en opent (of sluit) een poortschakeling in een leiding, via welke aan de eerste flip-flop een terugzetimpuls wordt toegevoerd. Bij een positieve potentiaal van de somleiding wordt de terugzetimpuls onderdrukt. Wanneer ook de analoog-ingangsspanning boven + 5 V ligt, wordt de geijkte weerstand van 10 kΩ na een korte inschakeling „bij wijze van proef" direct weer uitgeschakeld (zie blz. 58). Dit inschakelen van de eerste geijkte weerstand van 10 kΩ veroorzaakt dus, gemeten aan de somleiding, de compensatie van 5 V van de analoge ingangsspanning.

Intussen heeft de ringteller de tweede flip-flop en daardoor ook de tweede geijkte weerstand van 20 kΩ ingeschakeld. Deze weerstand compenseert 2,5 V van de analoge ingangsspanning (indien de eerste weerstand in de ingeschakelde toestand werd gelaten, compenseren beide weerstanden te zamen 7,5 V van de ingangsspanning). De zich nu instellende potentiaal van de somleiding (positief of negatief) bepaalt, of deze weerstand ingeschakeld blijft of door de terugzetimpuls wordt uitgeschakeld.

De volgende weerstanden hebben waarden van 40 kΩ (0,625 V), 80 kΩ (0,3125 V) enz. Dit geldt voor die uitvoering van de analoog-digitaal-omzetter met een zuivere duale uitgangscode. Voor de uitvoering met binair ondergecodeerde decimale code worden weerstanden gebruikt, die een compensatie van telkens 8 V; 4 V; 2 V; 0,8 V; 0,4 V; 0,2 V; 0,1 V geven.

De door de klokfrequentie en de ringteller bepaalde schakelvolgorde wordt voortgezet, totdat over de in- en uitschakeling van de laatste flip-flop en daardoor over het cijfer van de laatste plaats is beslist. De stromen door de ingeschakeld gebleven weerstanden compenseren nu de ingangsstroom; de potentiaal van de somleiding is nu nagenoeg nul (zie foto 12).

De doorschakelsnelheid van flip-flop tot flip-flop en daardoor ook van de afstand in de tijd van de binaire cijfers t.o.v. elkaar aan de serie-uitgang

wordt normaliter door de ingebouwde klokfrequentiegenerator met 15 kHz bepaald. Eventueel kan de snelheid ook door een van buiten af toegevoerd kloksignaal (max. 20 kHz) worden bepaald.

Wanneer de foutengrens van 0,1 % niet dient te worden overschreden, mag natuurlijk de analoge ingangsspanning gedurende de tijd van het omzetten (bijv. 1 ms) niet veranderen. Indien een schommeling van de ingangsspanning onvermijdelijk is, zal de fout groter zijn.

Door de juiste schakelmaatregelen kunnen de temperatuurfluctuaties, waaraan de transistors en de precisieweerstanden tijdens hun bedrijf zijn blootgesteld, verregaand worden geëlimineerd.

Enkele technische gegevens

Analoge ingang

0 · · · + 10 V(grotere meetbereiken mogelijk)

Ingangsweerstand

5 kΩ (bij het bereik van 0 . . . 10 V).

Digitale uitgang

max. 10 bit bij een zuiver duale code; max. 12 bit bij de BCD-code

Parallel-impulsuitgang

positieve impulsen (+ 1 V), deze blijven tot het optreden van de volgende omzet-startimpuls.

Serie-impulsuitgang

1 V bij een uitgangsweerstand van 1 kΩ; herhalingsfrequentie ca. 15 kHz of overeenkomstig van buiten af toegevoerde klokfrequentie van max. 20 kHz.

Omzetsnelheid

max. herhalingsfrequentie van de vraagimpuls 1 kHz.

DE ANALOOG-DIGITAAL-OMZETTER PR 7800

In hoofdstuk 7 „analoog-digitaal-omzetters", blz. 53, werd reeds de principiële werking van de trappencodeerinrichting uiteengezet. De schakeling volgens fig. 85 toont nog eens een dergelijk apparaat. Het is duidelijk in te zien, dat het hier een compensatiemethode betreft. De aan de ingang van de omzetter (links boven) liggende onbekende spanning wordt door een in het apparaat opgewekte spanning, die m.b.v. een brugschakeling in afzonderlijke trappen kan worden veranderd, gecompenseerd. Zijn na het compenseren, wat automatisch geschiedt (klokgenerator, stuurgedeelte, relais) beide spanningen tenslotte even groot, dan is de aan de versterker liggende verschilspanning gelijk nul; de operatie is beëindigd en het resultaat wordt numeriek aangegeven (cijferindicatorbuizen) en misschien nog aan andere apparaten ter verwerking toegevoerd.

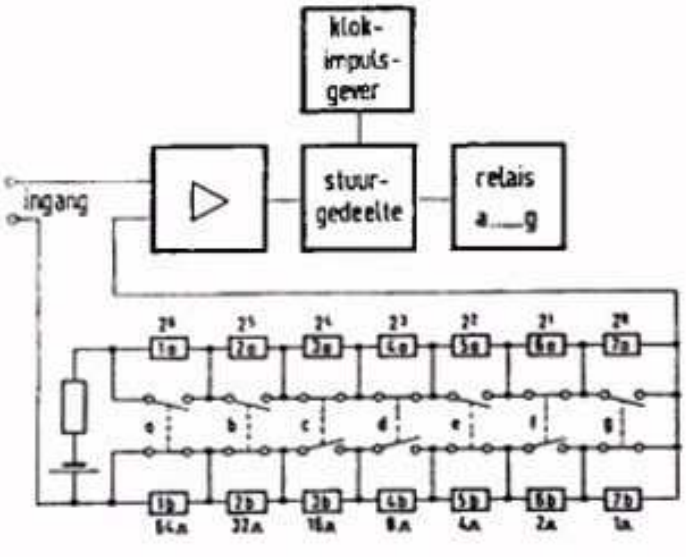


Fig. 85. Vereenvoudigd schema van een trappencodeerinrichting. De ene tak van de brugschakeling bestaat uit de geijkte weerstanden *1a*. . .*7a* (boven), de andere tak (beneden) uit *1b*. . .*7b*. De relais *a*. . .*g* schakelen de bijbehorende contacten *a*. . .*g*, die als dubbele contacten zijn uitgevoerd. Wordt een van de weerstanden in de tak *1b*. . .*7b* kortgesloten, dan wordt op datzelfde ogenblik de overeenkomstige weerstand in de tak *1a*. . .*7a* vrijgegeven. Nauwkeurige gegevens hierover op blz. 58.

De compensatiemethode biedt in de elektrische meettechniek een grote nauwkeurigheid; de meetfout van de automatische elektronische compensatoren ligt in de orde van $1^0/_{00}$. Daarbij komen nog andere voordelen,

waarvan hier slechts de grote bedrijfszekerheid en de grote instelkracht van het meetsysteem worden genoemd.

Deze laatste eigenschap maakt het aankoppelen van extra meetpotentiometers (volgpotentiometers) voor verdere externe functies van de compensator mogelijk. Daar de diagonale spanning van de brugschakeling, die na de compensatie nul is, met een elektronische versterker wordt versterkt, is de elektronische compensator ook zeer gevoelig en staat metingen van spanningen in de orde van 1 mV (en lager) toe. Deze gunstige eigenschappen leiden ertoe, dat dit meetapparaat overal kan worden toegepast, waar enerzijds een grote meetnauwkeurigheid wordt vereist en anderzijds het gebruik onder bepaalde zware omstandigheden plaats vindt, zoals in de industrie vaak het geval is. Het meetsignaal wordt met de compensator analoog aangegeven en eventueel ook geregistreerd (curve op registratiepapier). Fig. 86 toont het blokschema hiervan.

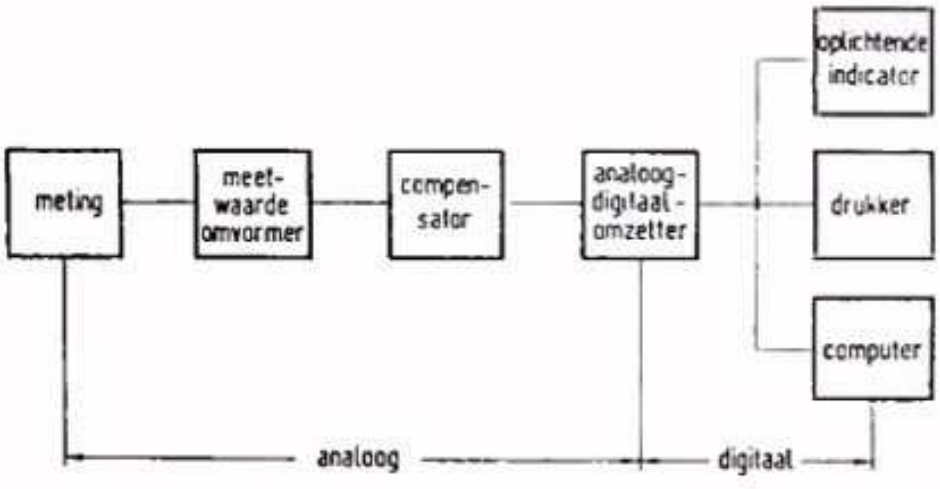


Fig. 86. Een niet-elektrische grootheid wordt m.b.v. een meetwaardeomvormer in een analoge elektrische grootheid omgevormd en met een automatische elektronische compensator aangegeven en eventueel ook geregistreerd. Een verdere informatieverwerking geschiedt in digitale vorm; het analoge meetsignaal van de compensator wordt aan een analoog-digitaal-omzetter toegevoerd.

Om nu de verschillende voordelen en mogelijkheden van digitale meetsignalen ook bij metingen met automatische compensatoren te verkrijgen lag het voor de hand, speciaal voor dit doel een analoog-digitaal-omzetter te ontwerpen. Het hiervoor ontwikkelde apparaat, de omzetter PR 7800 (foto 13), is echter ook zonder compensator als digitale voltmeter te gebruiken. In deze uitvoering is het apparaat van een uiterst gestabiliseerde spanningsbron voorzien. De reeds genoemde volgpotentiometer, die van het meetsysteem van de compensator galvanisch is gescheiden, heeft der-

halve een methode geschapen, die eveneens volgens het compensatieprincipe werkt en als brugschakeling is uitgevoerd. De stand van de loper van deze potentiometer komt overeen met de grootte van het analoge meetsignaal. Om nu deze meetwaarde in een digitale vorm om te zetten is het noodzakelijk, de aan de volgpotentiometer aan te sluiten weerstanden, die de brugschakeling vervolmaken, in afzonderlijke decaden te verdelen. Na iedere decade-compensatie wordt dan het overeenkomstige cijfer aangegeven. Natuurlijk dient dit automatisch te geschieden en moet dit zo vaak dit maar wenselijk is, worden herhaald, opdat bij langdurige metingen veranderingen van de meetwaarde direct worden aangegeven. De decaden-compensatie dient bovendien in een zich steeds herhalende cyclus te geschieden. Echter is vaak ook één enkele omzetting voldoende.

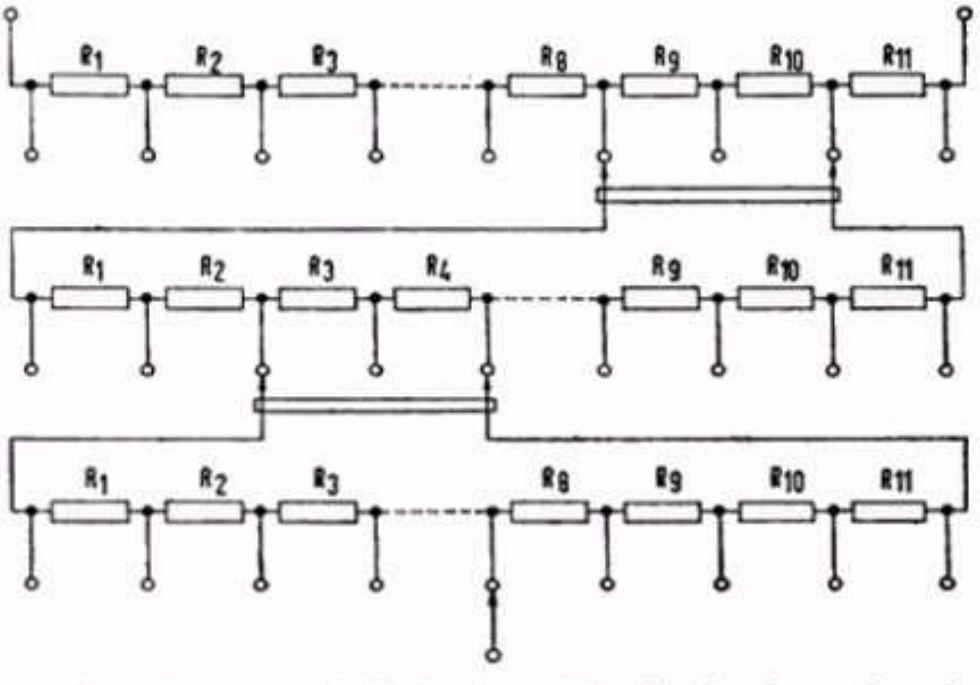


Fig. 87. Cascadeschakeling van de Varley-brug. De drie decaden maken de voorstelling van een getal tot 999 mogelijk.

De decaden zijn in cascade geschakeld; het betreft hier dus een Varley-brugschakeling zoals deze in fig. 87 is weergegeven. De onderverdeling in de afzonderlijke decaden geschiedt m.b.v. verscheidene spanningsdelers, die elk uit elf geijkte vaste weerstanden met uiterst lage toleranties zijn opgebouwd. Iedere volgende deler (max. 4 stuks) is aan de aftakpunten van de voorafgaande aangesloten. Terwijl de eerste drie decaden uit elk elf weerstanden zijn opgebouwd, bestaat de vierde en laatste decade uit tien weerstanden. De elfde weerstand wordt telkens gebruikt, omdat aan deze de-

caden de aftakking telkens twee weerstanden bevat. De t.o.v. deze twee weerstanden parallel liggende volgende decade vermindert de somweerstand van de beide aftakweerstanden op een delerweerstand, zodat praktisch de dwarsweerstand van iedere decade met een tiendelige decade overeenkomt. Hiervoor een willekeurig voorbeeld. De decaden zouden uit de volgende weerstanden kunnen zijn opgebouwd:

1e decade uit 11 maal 100 Ω
2e decade uit 11 maal 20 Ω
3e decade uit 11 maal 4 Ω
4e decade uit 10 maal 0,8 Ω

Zo liggen dus de 8 Ω-dwarsweerstanden van de laatste decade parallel t.o.v. 2 maal 4 Ω van de 3e decade. De totale weerstand is dus $\frac{8 \cdot 8}{8 + 8} = 4\ \Omega$; dit komt overeen met een enkele weerstand van de 3e decade. Daardoor is de resulterende dwarsweerstand van de 3e decade niet 44 maar 40 Ω. Deze 40 Ω liggen parallel aan twee weerstanden van elk 20 Ω (= 40 Ω in totaal) van de 2e decade. Op deze wijze wordt de resulterende dwarsweerstand van de 2e decade niet 220 Ω maar 200 Ω (10 maal 20 Ω). En tenslotte ligt de resulterende dwarsweerstand van de 2e decade van 200 Ω parallel aan 2 maal 100 Ω van de 1e decade, zodat hier een dwarsweerstand van 1000 Ω wordt verkregen.

Op deze wijze is het mogelijk, aan iedere spanningsdeler nog andere delers in cascade-schakeling te koppelen, zonder dat daardoor de waarden van de delers veranderen.

De voeding van de Varley-brug geschiedt m.b.v. een gelijkspanning (10 V); de diagonaalspanning wordt aan een fasegevoelige getransistoriseerde versterker toegevoerd. Deze is als wisselspanningsversterker uitgevoerd, aan de ingang waarvan het binnenkomende gelijkspanningssignaal op elektronische weg (d.m.v. transistors) in een verkapte gelijkspanning wordt omgevormd. De decadencompensatie, d.w.z. het voortschrijdend in- uitschakelen van de decadenweerstanden geschiedt d.m.v. relais, die zichzelf automatisch sturen. M.b.v. de instelbare weerstanden R_I en R_{II} (fig. 88), wordt het meetbereik van de Varley-brug aan dat van de compensator aangepast. De nauwkeurigheid, waarmee de analoge signalen in een digitale vorm worden omgezet, is nu eenmaal afhankelijk van het feit, welke nauwkeurigheid de decadenweerstanden hebben. Hier komt nog bij de nauwkeurigheid, waarmee de brug wordt gecompenseerd.

Werking van de analoog-digitaal-omzetter

De diagonale spanning van de Varley-brug, die tussen het glijcontact van de volgpotentiometer in de compensator (zie fig. 88) en de relais-automaat

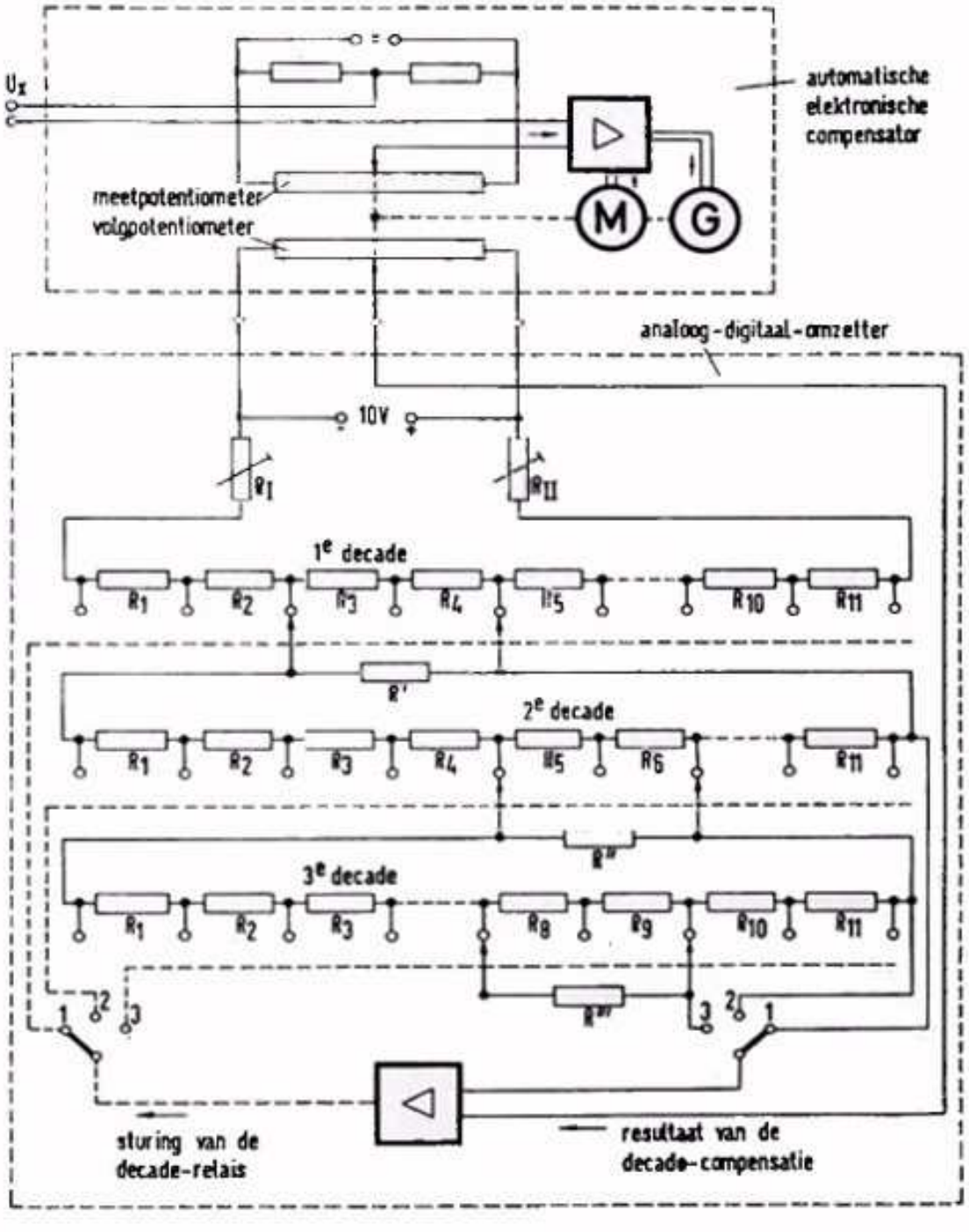


Fig. 88. Principeschema van een automatische elektronische compensator, (boven) met een galvanisch gescheiden volgpotentiometer, waaraan de Varley-brug van de analoog-digitaal-omzetter is aangesloten.

ontstaat, keert bij het compenseren van iedere decade na het overschrijden van de nulwaarde in fase om, waardoor de compensatie wordt gestopt; bovendien geschiedt m.b.v. een omschakelrelais (zie fig. 89) het aanschakelen van de volgende decade voor een verdere omzetting. Is de compensatie van alle decaden geschied, dan wordt het resultaat numeriek aangegeven, ook kunnen andere informatie-verwerkende apparaten, (bijv. een drukker, foto 8) worden aangesloten.

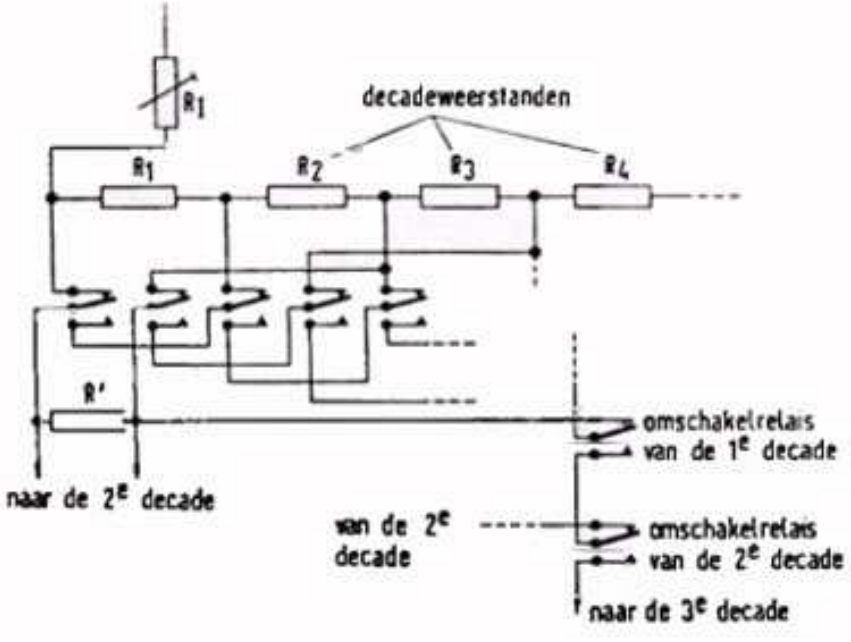


Fig. 89. Relaiscontacten schakelen de afzonderlijke decadeweerstanden in resp. uit. Met extra omschakelrelais wordt na plaatsgevonden compensatie naar de eerstvolgende decade doorgeschakeld.

Ingeleid wordt de omzetting door het bedienen van de starttoets. Op dat ogenblik krijgen alle decadenrelais stroom en spreken aan. Aan de versterkeruitgang is de stroom negatief; daardoor beginnen de relais van de eerste decade geheel automatisch na elkaar af te vallen. De aftakpunten tussen de geijkte decadenweerstanden worden trapsgewijze naar de hogere spanning verschoven. Op een of andere plaats overschrijdt daarbij de compensatie het nulpunt van de brug, d.w.z. het punt, waarop de meetspanning is gecompenseerd.

Op dat ogenblik draait de fase van de diagonaalspanning om. Als gevolg daarvan wordt de uitgangsstroom van de versterker geblokkeerd. In de decade wordt de compensatie gestopt, er vallen geen verdere relais meer af. De stand van de weerstandaftakkingen geeft het eerste cijfer van de numerieke indicatie aan. Daarna schakelt de automaat op de tweede decade over en de beschreven handeling herhaalt zich met als resultaat, dat dan ook het tweede cijfer van het meetresultaat wordt verkregen. De oplichtende indicatie

geschiedt met drie of vier oplichtende indicatorbuizen, waarvan elk negen lampjes bevat, die afhankelijk van het aantal afgevallen relais worden ingeschakeld (fig. 90).

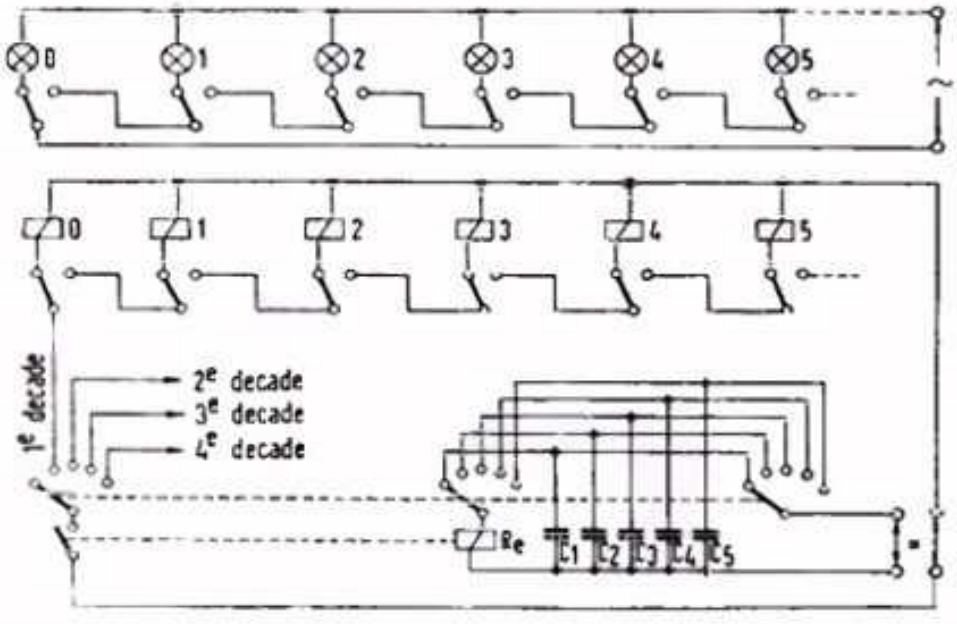


Fig. 90. Bij de decade-omschakeling wordt telkens een condensator ingeschakeld, waarvan de korte ontlaadstroom via het relais Re vloeit. Dit relais zet het overeenkomstige cijferrelais (0. . .9) onder stroom, welk relais binnen in de indicatorbuis het bij de decadecompensatie verkregen cijferlampje inschakelt.

Bij het afvallen van een decaden-omschakelrelais ontlaadt zich een condensator via een ander relais (*Re*), waarmee voor de duur van het ontladen een stroomkring naar buiten wordt gesloten, via welke bijv. een drukker een stuurimpuls krijgt. De voor het opladen van de condensatoren noodzakelijke tijd bepaalt de snelheid, waarmee een meetcyclus verloopt. Bij een driecijferige indicatie (drie decaden) zijn voor de omzetting minder dan drie seconden nodig. Nadat een omzetting is afgesloten, verschijnt een „klaar-signaal", het teken voor de toestand, dat met een nieuwe omzetting kan worden begonnen. Wanneer op „automaat" wordt geschakeld, herhaalt zich de decadencompensatie in een cyclus, waarvan de tussenpauzen van ca. 3 . . . . 25 s kunnen worden ingesteld.

Voor het verkrijgen van het meetresultaat zijn tien uitgangsleidingen noodzakelijk; ieder cijfer van een decade heeft een leiding. Bij drie decaden zijn echter geen dertig leidingen noodzakelijk, omdat volgens het multiplex-systeem wordt gewerkt, d.w.z., de tien leidingen worden telkens aan

de decade geschakeld, die juist wordt gecompenseerd (fig. 91). Het betreft hier dus een serie-uitgang van de analoog-digitaal-omzetter, die naar behoefte m.b.v. andere extra relaisschakelingen in een paralleluitgang kan worden omgevormd.

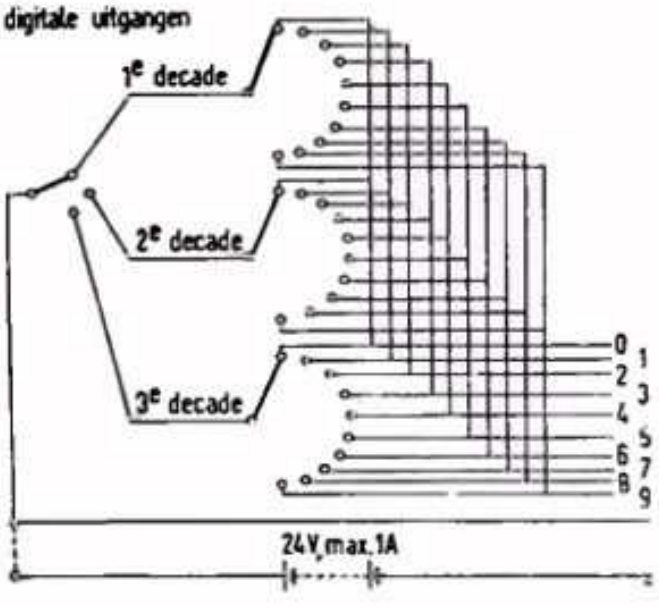


Fig. 91. De tien uitgaande leidingen worden automatisch na elkaar aan de decaden aan- en afgeschakeld.

Enkele technische gegevens

Analoge ingang

Potentiometer, weerstand minstens 300 Ω, of gelijkspanning 0 . . . 10 V.

Gelijkspanningsmetingen

Uitwendige weerstand max. 100 Ω (3 decaden) resp. 10 Ω (4 decaden).

Foutengrens

1 Eenheid, of kleiner dan 0,1 %

Cijferindicatie

In decimale cijfers 0 . . . 999 resp. 0 . . . 9999, cijferindicatie vanaf een afstand van 5 m nog duidelijk waarneembaar.

Omvormduur

Ca. 2 s maximaal; 0,6 s minimaal.

Automatische werking

Omvormingscyclus, instelbaar tussen 3 en 25 s.

Uitgang

2 stellen contacten voor het afgeven van elk een serie-decimaalcode.

Stuurversterker voor de nulindicator

Gelijkspanningsversterker
gevoeligheid beter dan 1 mV gelijkspanning
transistor-triller 1000 Hz.

Brugvoeding

10 V gelijkspanning
max. belasting, d.w.z. kleinste belastingsweerstand, 200 Ω.

HOOFDSTUK 15

DIGITALE LENGTEMETING BIJ GEREEDSCHAPSMACHINES

De inrichting voor digitale lengtemeting dient in de eerste plaats voor de numerieke indicatie bij boor- en freesmachines voor verticale en horizontale bewegingen.

De voordelen van numerieke indicatie van de meting zijn de nauwkeurige en snelle aflezing (zonder zichtverschillen en zonder omrekening en schatting) alsmede het feit, dat de man aan de machine de cijfers reeds vanaf een grote afstand goed kan zien. Het nulpunt van de teller kan op iedere willekeurige plaats van het werkstuk worden gelegd. Bij draaibanken is het mogelijk, de diameter van het werkstuk aan te geven (foto 14).

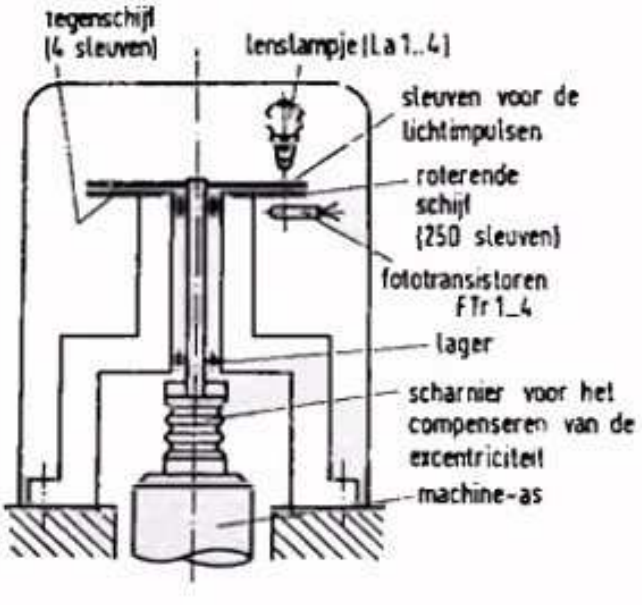


Fig. 92. Doorsnede door de meetwaarde-omvormer.

De foto-elektrische meetwaarde-omvormer

De samenstelling van het apparaat voor de numerieke indicatie bevat de meetwaarde-omvormer (foto 15), de elektronische teller en het indicatieapparaat. De meetwaarde-omvormer heeft tot taak, draaibewegingen in elektrische signalen om te vormen. Er wordt dus een hoekbeweging door

het tellen van impulsen gemeten. Een continu proces wordt gekwantiseerd en op deze wijze door een telling registreerbaar gemaakt. Lineaire bewegingen kunnen tevoren via tandheugels of tandwielen in draaibewegingen worden omgezet, eveneens is dit met een kogeldraaispil of een meetspil mogelijk. De meetwaarde-omvormer wordt aan de as van de machine gekoppeld; op deze wijze neemt een groefschijf met in totaal 250 groeven (met een breedte van ca. 0,5 mm) deel aan de draaibeweging van de as. Vier fototransistors tasten de schijf af, zodat bij één omwenteling 4 maal 250 = 1000 impulsen ontstaan (zie fig. 92). Bij max. 10 omwentelingen per seconde ontstaan 10 maal 1000 impulsen = 10 kHz; d.i. het maximale oplossend vermogen van de meetwaarde-omvormer (met een speciale uitvoering kan een oplossend vermogen van 40 kHz worden bereikt). Opdat een richtingsafhankelijke telling mogelijk is, moet tussen de signalen een faseverschuiving van 90° heersen (zie fig. 98). Fig. 92 is een schematische

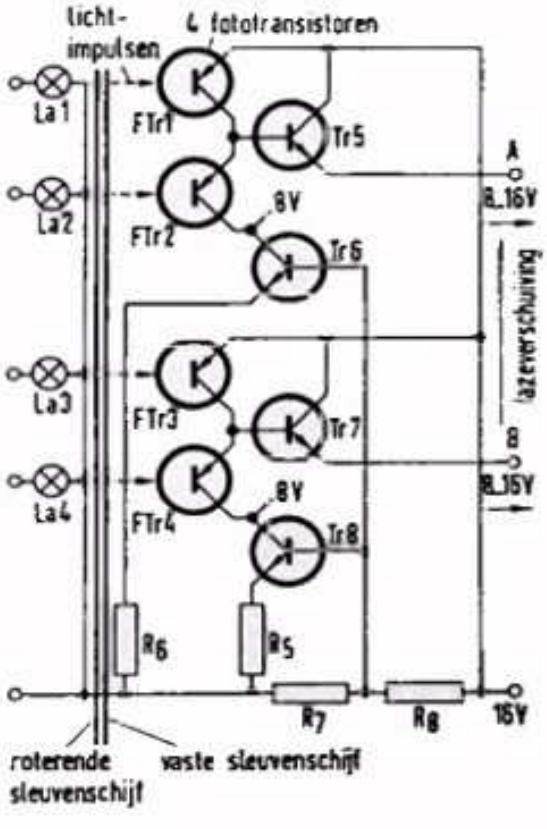


Fig. 93. Het elektrische en elektronische gedeelte van de meetwaardeomvormer.

doorsnede van de meetwaarde-omvormer. De door de machine-as aangedreven schijf heeft een tegenschijf met vier sleuven, die niet aan de draaibeweging deelneemt. Hierachter bevinden zich de fototransistors $FTr_{1 \ldots 4}$ (fig. 93). De roterende schijf wordt door vier lenslampjes ($La_{1 \ldots 4}$) bestraald.

Om een richtingsafhankelijke indicatie mogelijk te maken geschiedt de belichting van de vier fototransistors volgens een bepaald systeem. Op het ogenblik, waarop FTr_1 vol licht krijgt, is de sleuf voor FTr_2 geheel gesloten. De twee overige fototransistors zijn half geopend (FTr_3) en half gesloten (FTr_4). De basispotentiaal van transistor Tr_5 hangt af van het feit, hoe sterk de belichting van de fototransistors FTr_1 en FTr_2 is. Het geleidingsvermogen van de transistors is evenredig aan de invallende hoeveelheid licht. Valt geen licht op de transistors, dan zijn zij weliswaar niet geheel geblokkeerd. Een volle belichting van FTr_1 heeft tot gevolg, dat de basis van Tr_5 via de lage doorlaatweerstand van FTr_1 geheel aan 16 V ligt. Wordt daarentegen FTr_2 vol belicht, dan is de basis van Tr_5 via de geringe doorlaatweerstand van FTr_2 met de collector van Tr_6 (8 V) verbonden. Deze collector heeft steeds een potentiaal van 8 V, omdat Tr_6 stroomgeleidend is; deze transistor heeft tot taak, de stroom door de fototransistors FTr_1 en FTr_2 te begrenzen, voor het geval, dat de sleuven voor FTr_1 en FTr_2 gedeeltelijk zijn geopend. Stijgt de stroom door FTr_1 en FTr_2 boven 3 mA, dan zal de grote spanningsval aan R_6 de transistor Tr_6 blokkeren. Daar de emitterpotentiaal van Tr_5 de basispotentiaal volgt, varieert de spanning van het punt A tussen 8 en 16 V.

Op dezelfde wijze werken ook de fototransistors FTr_3 en FTr_4, waardoor in het punt B een spanningsvariatie van 8 . . . 16 V ontstaat. Tussen de spanningen in A en B bestaat een faseverschil. Wordt de as van de meetwaarde-omvormer (van de as uit gezien) naar links gedraaid, dan ijlt de spanning in punt A t.o.v. die in punt B 90° in fase voor. Bij een tegengestelde draaibeweging ontstaat ook een omgekeerd faseverschil.

De van de meetwaarde-omvormer uitgaande impulsen komen op een impulsvormer (fig. 94), waar zij door een synchronisatie met de impulsen van een impulsgenerator (ca. 100 kHz) via enkele poortschakelingen aan de telinrichting (die vooruit- en achteruit kan tellen) worden toegevoerd. Bij een stijging van (bijv.) 10 mm en 1000 impulsen/omwenteling bedraagt de kleinste nog waarneembare meetgrootte 0,01 mm. Ditzelfde wordt bereikt met een tandheugel, moduul 2, en een tandwiel met 25 tanden, alsmede een impulsvormer met 7854 impulsen/omwenteling. De kleinste nog aan te geven verschuiving hangt in de eerste plaats af van het aantal impulsen/omwenteling en in de tweede plaats van de transportgrootte van de spil. Met een 5-decaden-teller ontstaat een totale meetbare lengte van 999,99 mm. Bij een transportgrootte van 1 mm bedraagt de meeteenheid 1 $\frac{\text{mm}}{1000}$ en de

maximale lengte 99.999 mm. De van de meetomvormer komende signalen bevatten geen plaatsbepaling, deze kunnen enkel en alleen worden geteld en pas daarna is uit de som van de impulsen een conclusie voor wat betreft de afgelegde afstand mogelijk. Het betreft hier een „incrementeel systeem" (zie blz. 38). De nulpuntinstelling bestaat uit het terugzetten van de teller. Bij de uitvoering /01 is een willekeurige keuze van het referentiepunt door het invoeren d.m.v. een trappenschakelaar mogelijk.

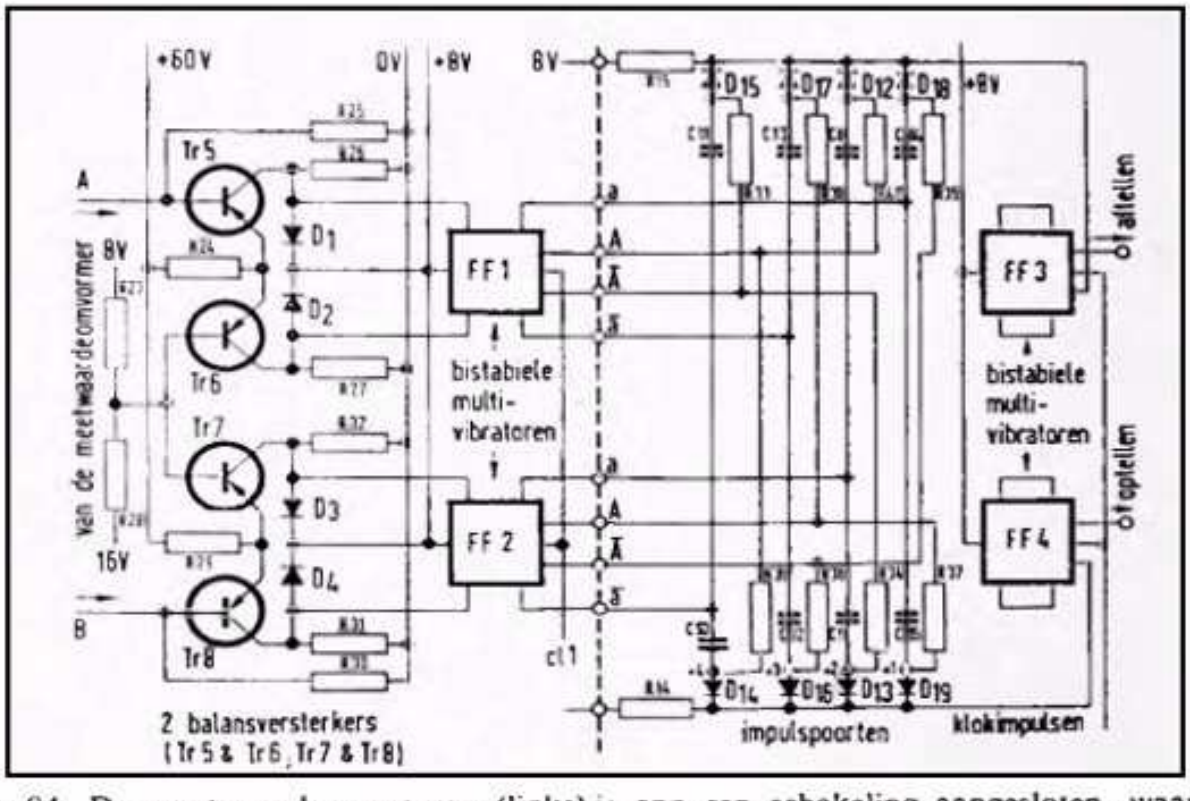


Fig. 94. De meetwaarde-omvormer (links) is aan een schakeling aangesloten, waarmee de opgewekte impulsen in een op- en aftelrichting worden gescheiden.

De totale meetwaarde-omvormer is eenvoudig en robuust. Het is niet moeilijk, deze aan gereedschapsmachines en andere apparaten aan te brengen. Tussen de omvormer en het telapparaat PE 2260 bestaat een kabelverbinding, via welke de van de fototransistors afkomende signalen aan twee balansversterkers worden toegevoerd. (Iedere versterker krijgt twee signalen met een faseverschil van 180°.) De impulsen worden rechthoekig gemaakt en daarna door de impulsen van een klokimpulsgenerator gesynchroniseerd.

De van de meetomvormer komende telimpulsen komen pas dan bij de teller, wanneer een synchronisatie-impuls van de klokimpulsgenerator is

aangekomen (fig. 95 toont het blokschema). Deze heeft een frequentie van 100 kHz, dit komt overeen met een impulsafstand van 10 μs. De impulsen zelf hebben slechts een duur van 1 μs, de stijgtijd bedraagt 0,1 μs (fig. 95). Slechts tijdens deze zeer korte stijgtijd wordt de telimpuls vrijgegeven; de overige tijd is de teller voor iedere stoorimpuls geblokkeerd. De verhouding openingstijd: blokkeertijd bedraagt 1 : 100, dat betekent een grote storingsongevoeligheid.

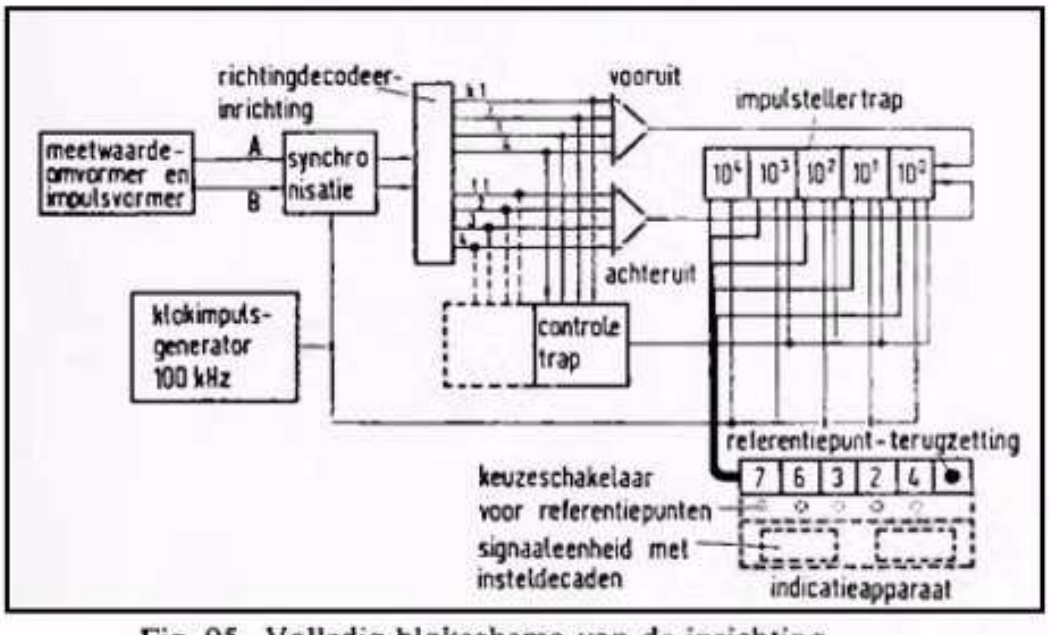


Fig. 95. Volledig blokschema van de inrichting.

De impulsgenerator (klokimpulsgenerator)

De impulsgnerator levert impulsen met een duur van 1 μs, die een grote flanksteilheid hebben (zie fig. 97). Elke 9 μs verschijnt een nieuwe impuls. De vrij zwevende astabiele multivibrator (zie blz. 9) bestaat uit de beide transistors Tr_1 en Tr_2 (fig. 96). Met behulp van de monostabiele multivibrator (zie blz. 10) wordt aan de impulsen een gedefinieerde vorm gegeven. Daar deze impulsen aan verscheidene functie-eenheden worden geleverd, is een overeenkomstige vermogensversterking noodzakelijk, hetgeen m.b.v. de transistors $Tr_{5 \ldots 11}$ geschiedt. Om daarbij de flanksteilheid te behouden, worden de versterkertrappen van een directe koppeling voorzien.

Om deze reden zijn *N-P-N*- en *P-N-P*-transistors noodzakelijk, die men zonder meer achter elkaar kan schakelen. De impulsgenerator levert een impulsspanning van ca. 2,5 V.

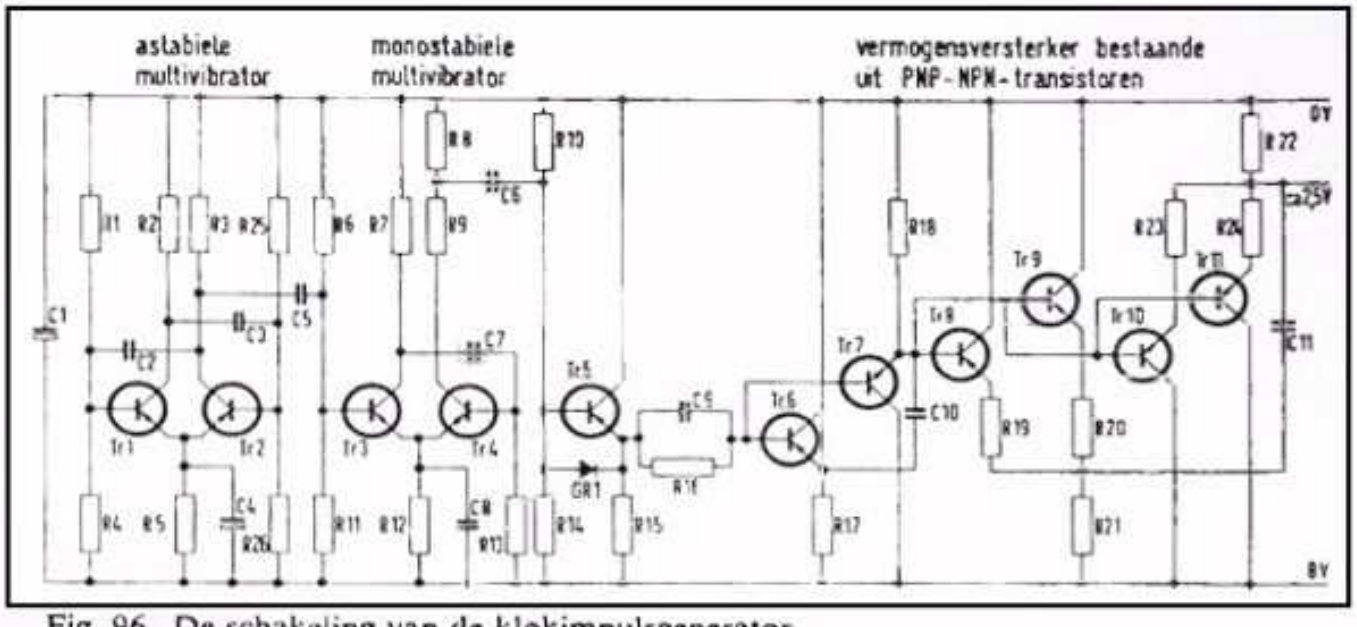


Fig. 96. De schakeling van de klokimpulsgenerator.

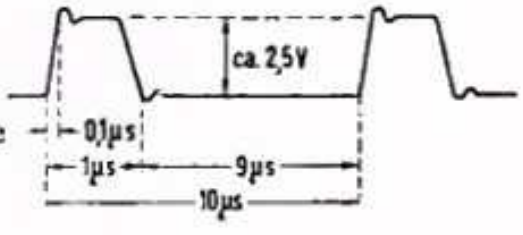


Fig. 97. De impulsen van de klokimpulsgenerator.

De telschakeling

De van de meetwaarde-omvormer komende rechthoekimpulsen (leidingen *A* en *B* in fig. 93) komen nu bij de reeds genoemde twee balansversterkers (fig. 94). Heeft bijv. het signaal aan de basis van de transistor Tr_5 een hogere potentiaal dan 12 V, dan wordt deze transistor geblokkeerd; de in balans werkende transistor Tr_6 wordt daarentegen stroomgeleidend. Op dezelfde wijze werkt de versterker met de transistors Tr_7 en Tr_8.

De dioden $D_1 \ldots_4$ hebben tot taak, de uitgangssignalen van de beide balansversterkers niet boven 8 V te laten stijgen. De uitgangen van de beide versterkers leiden naar twee bistabiele multivibratoren FF_1 en FF_2 (flip-flop) (zie blz. 11), waarin de synchronisatie met de impulsen van de klokimpulsgenerator geschiedt. Deze signalen zijn t.o.v. elkaar 180° in fase verschoven.

Aan de bistabiele multivibratoren FF_1 en FF_2 zijn logische schakelingen aangesloten, waarin het optellen en aftrekken (vooruit en achteruit tellen) geschiedt. De werking is als volgt:

De vier uitgangen van de flip-flop FF_1 (a, A, $\bar{A}$, $\bar{a}$) kunnen de schakeltoestanden „L" en „O" hebben. De spanningswaarden variëren tussen 8 en 16 V; de gemiddelde waarde is 12 V. Het optellen en aftrekken geschiedt nu doordat men in de logische schakelingen de signalen op een bepaalde waarde combineert. In het getoonde voorbeeld van fig. 98 (links) bestaat voor FF_1 voor A de toestand „L".

Gedurende deze toestand wordt voor FF_2 voor a eveneens deze toestand bereikt. Dit heeft tot gevolg, dat dan aan de weerstand R_{10} de spanning 8 V bedraagt; de spanning aan de diode D_{12} is dan 0 V. Komt nu echter via C_8 van FF_2 een „L"-signaal eveneens aan de weerstand R_{10}, dan heeft hier een differentiëring van dit signaal (RC-element) plaats. De diode wordt geleidend; het signaal voor flip-flop FF_3 komt op de „aftrek-leiding". Het optellen geschiedt op dezelfde wijze, alleen worden de signalen uit FF_1 en FF_2 in de logische schakelingen anders gecombineerd.

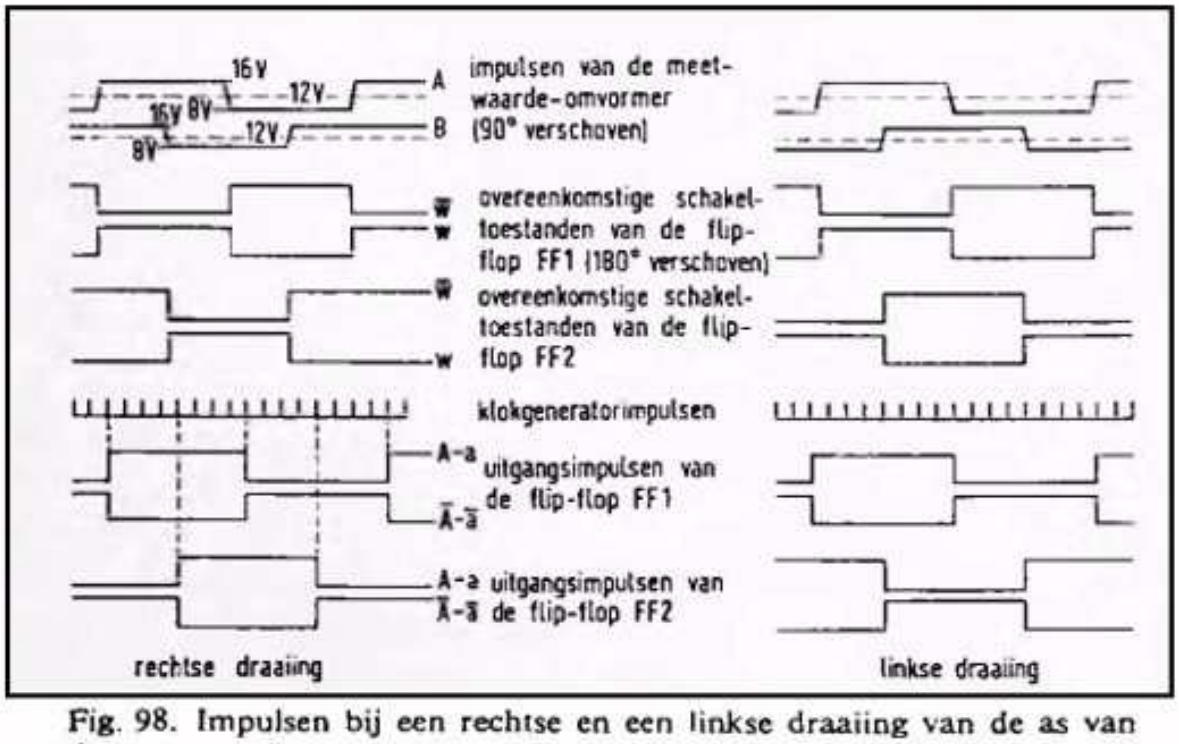


Fig. 98. Impulsen bij een rechtse en een linkse draaiing van de as van de meetwaarde-omvormer.

De flip-flop FF_3 levert nu de rechthoeksignalen van de aftrekteller en FF_4 die van de opteller. Komt op hun ingang een van de logische schakelingen afkomstig „L"-signaal, dan geschiedt dit synchroon (dus gelijktijdig) met een signaal van de klokimpulsgenerator.

Daar echter de frequentie van de klokimpulsgenerator veel groter is dan die van de telimpulsen, wipt de flip-flop reeds bij het verschijnen van de

volgende klokimpuls (dus na 10 μs) weer in de oude stand terug. De uitgang levert dus rechthoekige telimpulsen met een duur van 10 μs. De teller bestaat uit vier bistabiele multivibratoren en verscheidene „EN"- en „OF"-schakelingen. De codering geschiedt volgens de „plus-drie-code", welke op blz. 46 is toegelicht.

Voordelen van numerieke indicatie met een willekeurige nulinstelling

Het aflezen van de maten bij draaibanken, freesmachines, horizontale boormachines enz. is niet altijd gemakkelijk en voldoet slechts zelden aan de eis, de maten van de constructietekening terstond en zonder moeilijkheden in de machine te kunnen overbrengen. De grove aflezing geschiedt meestal met een lineaire schaal langs de geleiding; de fijne aflezing is m.b.v. een extra deelschijf of instelschroef mogelijk. Dit is omslachtig en een bron van mogelijke fouten. Uiterst moeilijk is het, het nulpunt vast te leggen. Op de grove schaal is dit meestal in het geheel niet mogelijk; de deelschijf kan misschien losgekoppeld worden, waardoor een nulinstelling op de fijne aflezing mogelijk wordt. Hierdoor vervalt de nulpuntinstelling, die beslist noodzakelijk is om de waarden van de tekening direct in de machine over te brengen, om zuiver constructieve redenen min of meer. Bovendien moet het personeel steeds rekenen en vaste bedragen onthouden. Deze nadelen worden met een numerieke indicatie vermeden, waarbij de teleenheid klein genoeg is, om aan de nauwkeurigheid van de machine te voldoen. Wordt de teller, die deze eenheden als impulsen telt, van een nulinstelling voorzien, dan kan het nulpunt op iedere willekeurige plaats van de slede worden vastgelegd. Door een eenvoudige drukknopbesturing aan het indicatieapparaat wordt de teller met alle decaden op 00000 teruggezet. Iedere verdere beweging van de slede wordt nu vanaf 00000 geteld, en wel vanaf dit nieuw gekozen nulpunt. Dit is een groot voordeel van de incrementele telling. Uit een eenvoudig rekenvoorbeeld blijkt verder, dat een dergelijke telling alleen langs elektronische weg mogelijk is.

Nemen wij aan, dat de geleidespil van de slede van een boormachine een spoed van 10 mm heeft. Onder bepaalde omstandigheden kan verder worden aangenomen, dat deze spil per seconde 5 omwentelingen maakt. Dus de slede beweegt zich met een snelheid van 50 mm/s. Moet daarbij de kleinste meeteenheid 1/100 mm bedragen, dan dienen 5000 impulsen/s te worden opgewekt. Dit grote aantal impulsen kan slechts met elektronische middelen worden opgewekt en nauwkeurig worden geteld.

Terwijl het bij horizontale boormachines voldoende is, de teller op iedere willekeurige plaats op nul te zetten, wordt bij een draaibank vereist, dat op iedere willekeurige waarde kan worden teruggezet. Iedere verdere indicatie geeft dan de verandering t.o.v. dit vooringestelde bedrag. Deze telling is zowel vooruit als achteruit mogelijk. De instelling geschiedt d.m.v. een trappenschakelaar aan het indicatie-apparaat. Bij een freesmachine wordt het nulpunt op het werkstuk vaak zo vastgelegd, dat men van dit punt uitgaande, de bewerking zowel naar rechts als naar links kan uitvoeren. Naar rechts wordt opgeteld, naar links wordt achteruitgeteld. Om te vermijden, dat negatieve getallen worden aangegeven, kan men m.b.v. de „1-0-1-schakelaar" het telprocédé zodanig instellen dat – wordt de weg vanaf een bewerkingspunt rechts van het nuipunt achteruit gemeten – het apparaat tot 0000 (bij vier decaden) kan achteruittellen. daarna echter, van 0000 naar links verder gaand, nog eens kan optellen.

HOOFDSTUK 16

DOSEER-AUTOMAAT (MENG-AUTOMAAT)

De verschillende voordelen van elektronische weeginstallaties zijn de reden voor de zich steeds uitbreidende toepassing van deze installaties op alle gebieden van industrie, verkeer enz. De voordelen van elektronische systemen zijn deels van zuiver technische aard, en als gevolg daarvan ontstaan geheel nieuwe economische aspecten, die als betere mogelijkheden voor een rationalisering kunnen worden omschreven.

Een kenmerkende eigenschap van de elektronica is, dat het meten en registreren niet zoals bij mechanische systemen op de plaats van het wegen, maar onder bepaalde omstandigheden in een verder gelegen centrale kan plaatsvinden. Het meetsignaal wordt versterkt en daarna als analoog signaal gemeten en eventueel ook geregistreerd; een verdere verwerking van gegevens kan digitaal worden uitgevoerd.

De installatie is voor niet-continu plaatsvindende doseerprocessen bestemd, waarbij een aantal grondstofcomponenten in bepaalde hoeveelheden en in een voorgeschreven volgorde tot mengsels worden verenigd. Dit mengen kan door andere functies worden uitgebreid. Zo kan met de temperatuur en de zuurgraad rekening worden gehouden, roerinstallaties en speciale menginrichtingen kunnen worden in- en uitgeschakeld. Het programma verloopt geheel automatisch; eventueel optredende storingen stoppen de cyclus. Deze omvat willekeurig vele afzonderlijke handelingen, die in het programma zijn opgenomen. Voor iedere afzonderlijke handeling is een uitwisselbare functie- resp. bouweenheid in de standaarduitvoering aanwezig. Pas wanneer elk van deze afzonderlijke handelingen in de cyclus volgens de voorschriften werd uitgevoerd, schakelt de automaat op de volgende handeling over. De beëindigde cyclus wordt aangegeven.

De gewichtswaarden van de verschillende componenten kunnen aan meters, die de vereiste waarde aangeven, worden ingesteld. Voor verschillende gedefinieerde doseringen, bijv. de betonsoorten van een beton-menginstallatie, kunnen vaste programma's worden opgesteld, die terstond kiesbaar zijn; hierdoor worden dan telkens de afzonderlijke instellingen overbodig.

Op dezelfde wijze is het mogelijk, de vastgelegde menghoeveelheid door een keuzeschakelaar te verkleinen, zonder dat ook hierbij de afzonderlijke instellers voor de vereiste waarden zouden moeten worden veranderd. Is de eigen vochtigheid van een component (bijv. van het zand en het grind bij het mengen van beton) bekend, dan kan hiermee bij de dosering direct rekening worden gehouden. Met behulp van een schakelaar wordt de correctie op de voor het mengen van beton benodigde hoeveelheid water uitgevoerd.

Hierdoor is, te zamen met de combinatiemogelijkheid van de standaardfunctie-eenheden, de mogelijkheid van een snelle wisseling van het programma verkregen.

Bij deze installatie betreft het in de eerste plaats een toepassing van de analoge meettechniek, maar deze biedt ook verschillende mogelijkheden voor digitale functies, zoals bijv. bij de digitale invoering van het programma, de numerieke instelling van de vereiste waarde enz. De algemene ontwikkeling van de elektronische weeginstallaties geeft een goed voorbeeld, hoe men steeds meer van de analoge op de digitale systemen overgaat. De analoog werkende elektronische compensator – bij weeginstallaties van een overdimensionale cirkelschaal voorzien – bevat bij nieuwere installaties een analoog-digitaal-omzetter (de draaibeweging van de wijzer wordt gedigitaliseerd zoals dit met de op blz. 112 beschreven meetwaardeomzetter geschiedt) waarmee telimpulsen voor een incrementeel systeem (zie blz. 38) worden opgewekt. De verdere digitale verwerking van de gegevens geschiedt dan met een vooruit- en achteruit-teller.

De werking van de doseer-automaat

De principiële werking is in fig. 99 schematisch weergegeven. In de grondstofcontainers *A*, *B* en *C* bevinden zich de afzonderlijke componenten. Via de ventielen *F* (magnetische, pneumatische, hydraulische ventielen of motorbesturing) komen de grondstoffen in de weegcontainer *D*, die op de drukdozen *E* van een elektronische weeginstallatie rust. Hier geschiedt de gewichtsbepaling. Het meetresultaat komt bij een stuureenheid, waarin het met de vereiste waarden van het programma wordt vergeleken. Het resultaat wordt geregistreerd resp. numeriek uitgedrukt. De componenten worden een voor een uit de grondstofcontainers genomen (overeenkomstig het ingestelde programma). Na het wegen van de componenten verschijnt een „klaar"-signaal en een stappenschakelaar schakelt om op de volgende container.

Het hart van de doseer-automaat is de programma-stuureenheid, hiervandaan gaan de elektrische stuursignalen. Deze bevelen leiden de in het programma vastgelegde werkzaamheden in, d.w.z. de schakeleenheden van deze werkzaamheden worden van hieruit gestuurd. Zijn deze handelingen beëindigd, dan geeft de schakeleenheid aan de programma-eenheid een terugmeld-signaal. Daarna wordt door een startsignaal met de volgende handeling begonnen.

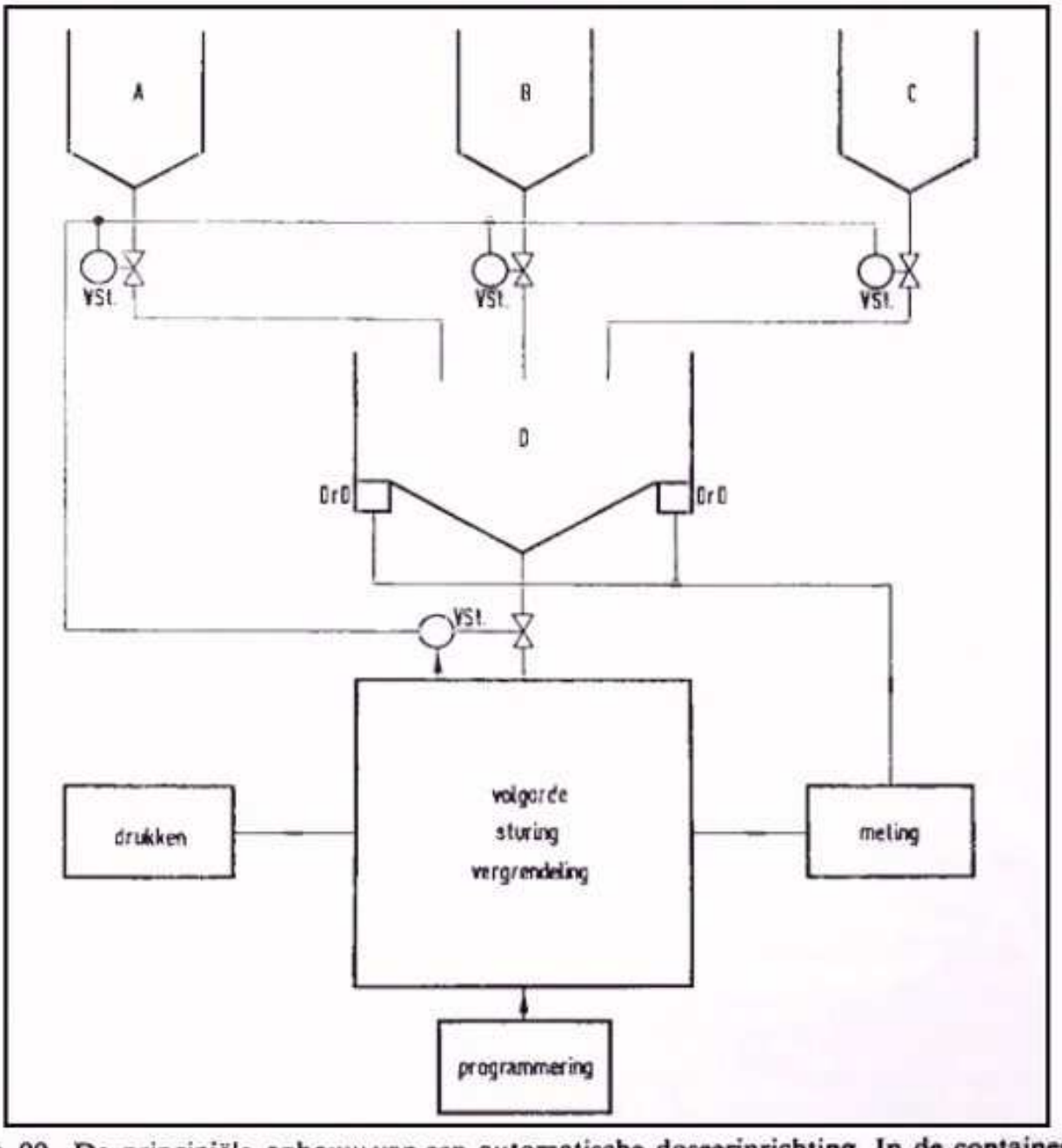


Fig. 99. De principiële opbouw van een automatische doseerinrichting. In de containers *A*, *B* en *C* bevinden zich de grondstoffen, die in de weegcontainer worden gewogen. De drukdozen *DrD* zijn aan een elektronische compensator aangesloten. De sturing van de kleppen geschiedt via *F*.

De cyclus van een totale automatische dosering wordt door het bedienen van een toets ingeleid. De programma-stuureenheid begint daarna met het wegen van de eerste component (zie fig. 100). Daartoe verbinden de daarbij behorende schakeleenheden de drukopnemer(s) van de weegcontainers met de automatische compensator; gelijktijdig wordt een verbinding met de overeenkomstige instelinrichting van de vereiste waarde gemaakt, waaraan het gewicht van de componenten tevoren werd ingesteld. Is dit gebeurd, dan opent het uittreeventiel van de grondstofcontainer voor de eerste component. Dit wordt automatisch beëindigd, op het ogenblik, waarop het aan de instelinrichting voor de vereiste waarde ingestelde gewicht is bereikt.

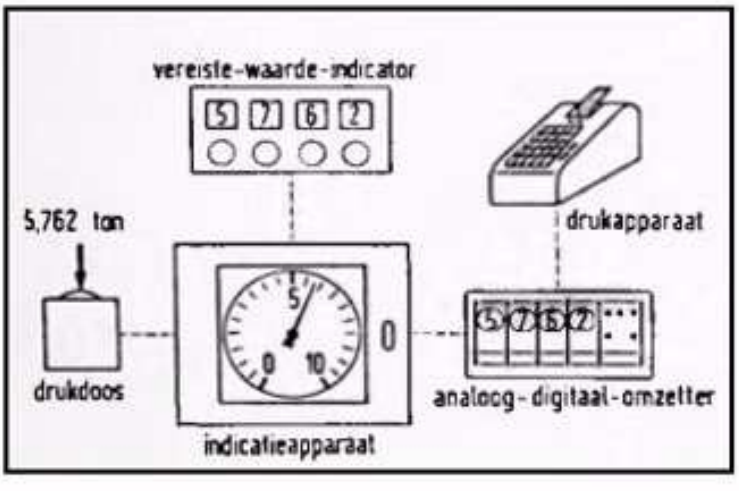


Fig. 100. De op de drukdozen uitgeoefende druk wordt met de compensator gemeten (analoge indicatie) en met de waarden van vereiste-waarde-indicator vergeleken. Bovendien heeft een analoog-digitaal-omzetting plaats voor het registreren m.b.v. een drukker.

Het ventiel van de grondstofcontainer sluit en het uittreeventiel van de weegcontainer wordt geopend, zodat de inhoud in het mengvat komt. Daardoor is de weegcontainer voor het wegen van de tweede component beschikbaar. Foto 16 toont een beton-menginrichting, die volgens dit principe werkt. Fig. 101 is de overeenkomstige schematische voorstelling.

De vereiste waarden kunnen óf aan een trappenschakelaar (numerieke instelling) óf aan de analoge schaal worden ingesteld. In vele gevallen is het in de praktijk niet voldoende, de materiaalstroom pas bij het bereiken van de vereiste waarde te stoppen. Voor het verkrijgen van de vereiste doseernauwkeurigheid moet de materiaalstroom reeds bij een bepaalde hoeveelheid beneden de vereiste waarde worden afgeremd; deze stroom wordt verkleind tot een „fijne" stroom (bijv. tot 10% van de „grove" stroom). Met deze fijne stroom wordt de vereiste waarde langzamer bereikt; de doseernauwkeurigheid wordt daardoor overeenkomstig groter. Behalve de eigenlijke vereiste waarde bestaat er dus nog de „voor-vereiste waarde", waarbij dit afremmen van de materiaalstroom begint. Verder dient een

„na-vereiste waarde" te worden ingesteld met behulp waarvan een alarm kan worden ingeschakeld, ingeval – om maar een voorbeeld te noemen – een van de ventielen van de materiaalcontainers niet volgens het programma zou sluiten.

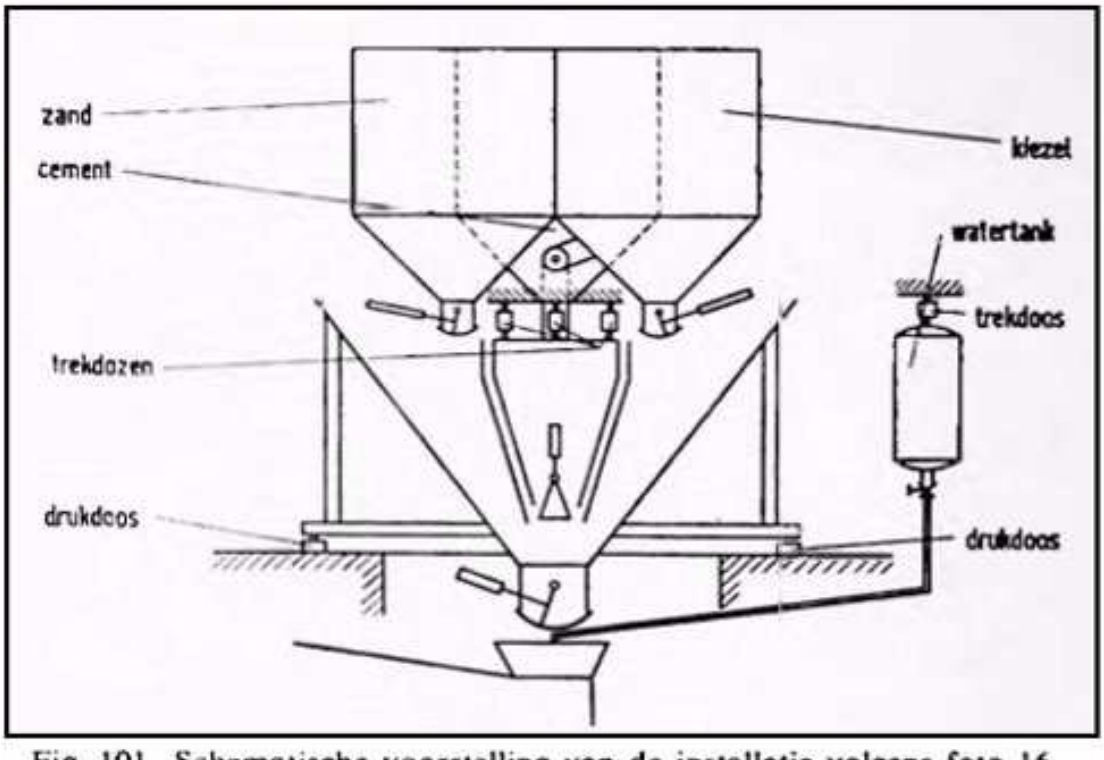


Fig. 101. Schematische voorstelling van de installatie volgens foto 16.

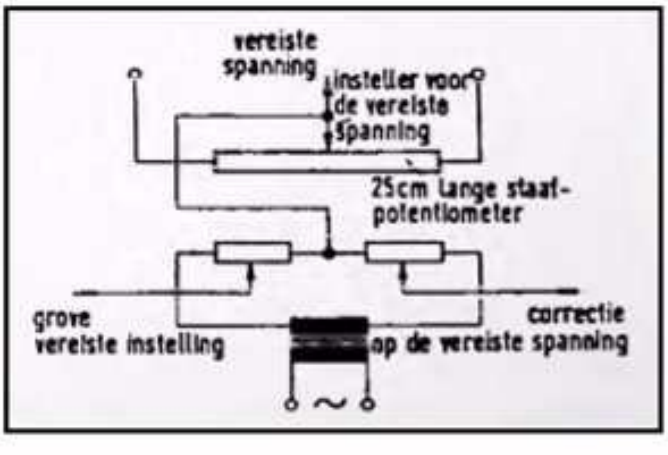


Fig. 102. Schakeling van de instelter voor de vereiste waarde.

Fig. 102 toont de schakeling van de instelinrichting voor de vereiste waarde in potentiometer-uitvoering (analoge waarden). De voor-vereiste waarde krijgt men door het aftrekken van een hulpspanning van de spanning voor de vereiste waarde. Door een optelling van een spanning ontstaat de spanning voor de na-vereiste waarde. Ook is het gebruik van ponsband mogelijk.

De aan deze potentiometer afgenomen waarde wordt constant met de momentele waarden van de weging vergeleken. Zijn beide waarden even groot, dan wordt het weegproces – zoals boven beschreven – gestopt. Het invoeren van de vereiste waarden m.b.v. ponsband is aan te bevelen, wanneer de mengverhouding van vele componenten van charge tot charge wisselt.

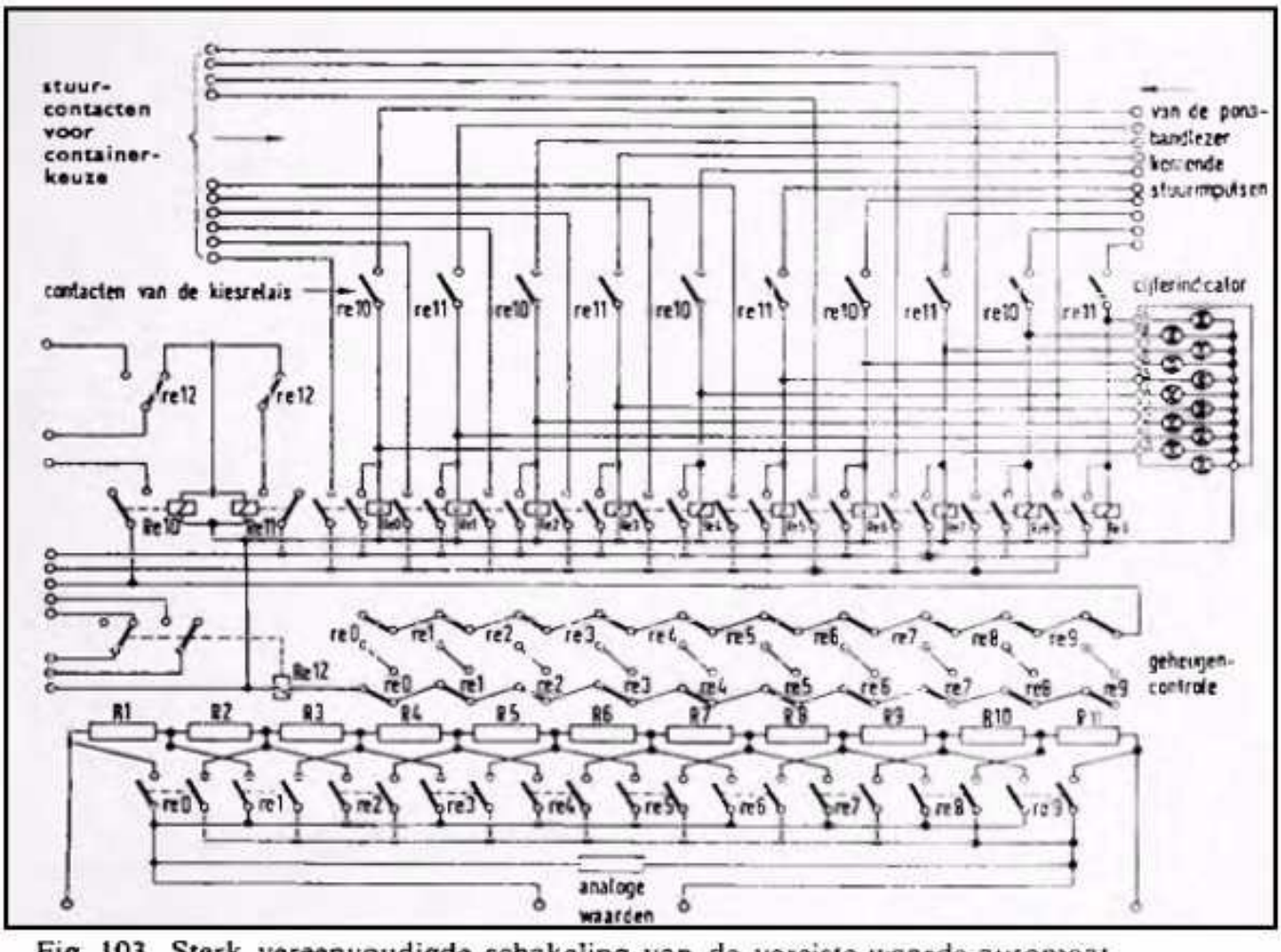


Fig. 103. Sterk vereenvoudigde schakeling van de vereiste-waarde-automaat.

Zoals reeds vermeld, is het ook mogelijk, de doseerinrichting d.m.v. een ponsbandlezer te sturen. De door dit apparaat afgegeven stuurimpulsen (met decimale paralleluitgang) komen in de „automatische eenheid voor de vereiste waarde", waarin dan de overeenkomstige analoge waarden van het numerieke ponsbandprogramma ontstaan. Fig. 103 toont een gedeelte van de schakeling van deze eenheid. Er kan een bunkerkeuze worden gemaakt (fig. 103, aansluitingen links boven). Een gewenst gewicht wordt m.b.v. een Tomson-Varley-brug in een analoge waarde omgezet. Aan deze eenheid kan bovendien de toelaatbare grens van de doseerfout worden ingesteld.

De ponsbandlezer geeft de cijfers achter elkaar, die samen de informatie voor de sturing van de dosering voorstellen. Daarbij behoort o.a. het nummer van de bedoelde materiaalbunker (dus de component), het voor de dosering vereiste gewicht van de component enz. Opdat de achter elkaar binnenkomende impulsen als informatie in hun totaliteit ter beschikking staan, is in de eerste plaats een registratie nodig, die m.b.v. de relais Re_0 tot Re_9 voor de cijfers 0 . . . 9 wordt uitgevoerd. Deze relais spreken telkens aan, zodra zij via de contacten van het keuzerelais (Re_{10} en Re_{11}) (fig. 103 links midden) een impuls van de ponsbandlezer ontvangen (fig. 103 rechts boven).

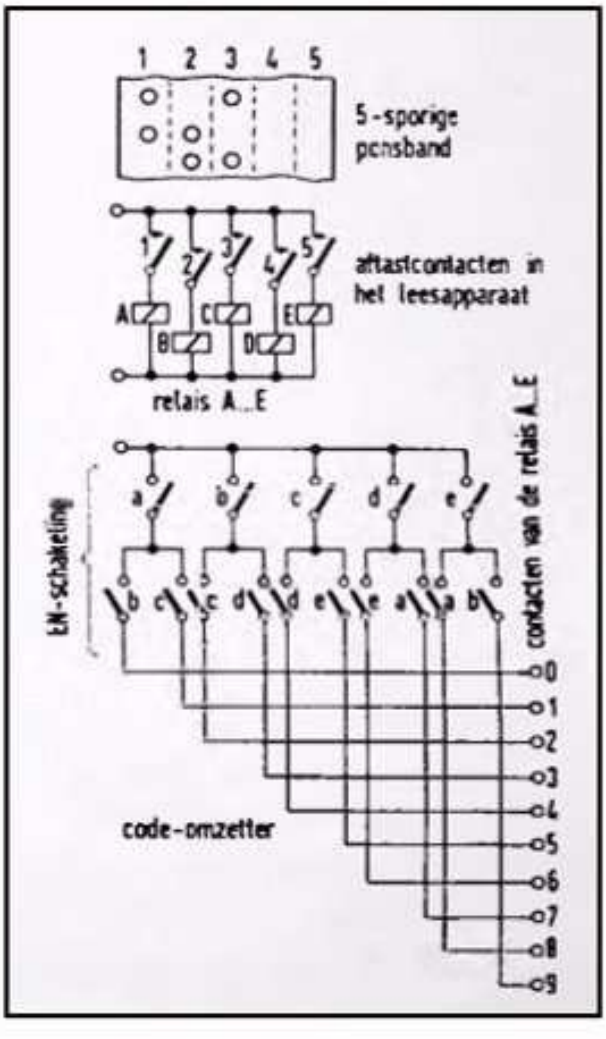


Fig. 104. Werking van een ponsbandlezer.

Zijn deze relais eenmaal aangetrokken, dan blijven zij in deze stand staan. Gelijktijdig geven zij een signaal aan de lampen van de cijferindicator (fig. 103 rechts midden). De registratierelais $Re_0 \ldots _9$ schakelen de decade van een Thomson-Varley-brug (fig. 103 beneden), zodat de overeenkomstige analoge waarde als vereiste waarde ter beschikking staat. Het relais Re_{12} is het „klaar"-relais. Dit spreekt aan, wanneer de ene handeling is beëindigd

en de cyclus kan worden vervolgd. Treedt in de sturing een fout op, d valt dit relais af, waardoor de dosering stopt.

Om een indruk te krijgen hoe een ponsbandleesapparaat werkt, toc fig. 104 het principe van de werking van een leesapparaat voor een vijfsp rige ponsband met een aangesloten decodeerschakeling.

Het aftasten van de gaten van de ponsband geschiedt met vijf contacte die bij het sluiten de relais *A* --- *E* doen aanspreken. Daar vijf sporen aa wezig zijn, kan men bijv. de „2 uit 5-code" toepassen, om de cijfers 0 . . voor te stellen, (bij deze code wordt een bit voor de overdrachtscontr gebruikt). Fig. 105 toont het codeschema. Bij deze code bestaat iec teken uit twee gaten. Natuurlijk zijn ook andere coderingen mogelijk, o bestaan er ponsbanden met meer sporen, die daardoor een grotere inf matie-inhoud hebben (zie blz. 39).

	0	1	2	3	6
0		L	L		
1	L	L			
2	L		L		
3	L			L	
4		L		L	
5			L	L	
6	L				L
7		L			L
8			L		L
9				L	L

Fig. 105. „Twee-uit-vijf-code"
(zie blz. 49).

Een dergelijke doseerinrichting kan op deze wijze aan bijna alle eventu voorwaarden van de praktijk worden aangepast. De afzonderlijke eenhed zijn verwisselbaar en kunnen door anderen functie-eenheden voor bepa de opgaven worden aangevuld. Zo kan met een extra tarreer-eenheid meetinrichting voor elke weging op nul tarreren. Ook is het mogeli om tijd te sparen, verscheidene doseringen gelijktijdig te laten pla vinden.

HOOFDSTUK 17

INRICHTINGEN VOOR HET OVERBRENGEN VAN SIGNALEN OVER GROTE AFSTAND

Het overbrengen van informatie over grote afstand geschiedt bijv. bij de telegrafie via zgn. WT-kanalen (WT = wisselstroom-telegrafie). Een kabel met een voor een spreekverbinding toereikende bandbreedte van 3400 Hz kan 24 WT-kanalen opnemen, waarvan elk een bandbreedte van 120 Hz heeft. Via ieder van deze kanalen kan een telexverbinding worden gemaakt, waarbij de telegrafeersnelheid 50 Baud bedraagt. (Bij een telegrafeersnelheid van 50 Baud bedraagt de duur van een stroomstap 1/50 = 0,02 s = 20 ms, zie blz. 148).

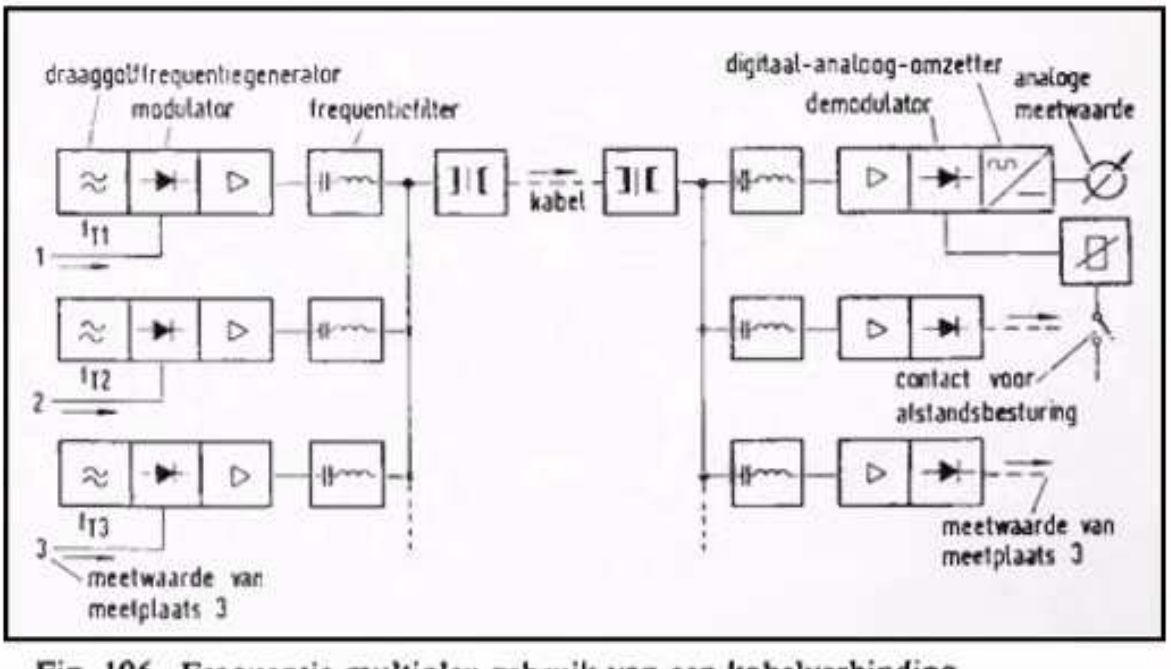


Fig. 106. Frequentie-multiplex gebruik van een kabelverbinding.

Een kabelverbinding (of ook wel een radioverbinding, waarbij de zender op een bepaalde draagfrequentie met een bandbreedte van ± 3400 Hz werkt) wordt daarmee meervoudig benut. Men spreekt dan van een „frequentie-multiplex" gebruik van een verbinding (fig. 106). Dient bij een gelijkblijvende bandbreedte van de verbindingsweg (dus 3400 Hz) het aantal overdrachtskanalen nog te worden vergroot, dan kan het systeem ook als

„tijd-multiplex" worden bedreven. Daarbij vindt de overdracht van de informatie in een snelle opeenvolging, dus niet meer gelijktijdig plaats. De meetplaatsen worden cyclisch afgevraagd. Er ontstaan daardoor vertragingen, die des te groter worden, naarmate meer meetplaatsen zijn aangesloten.

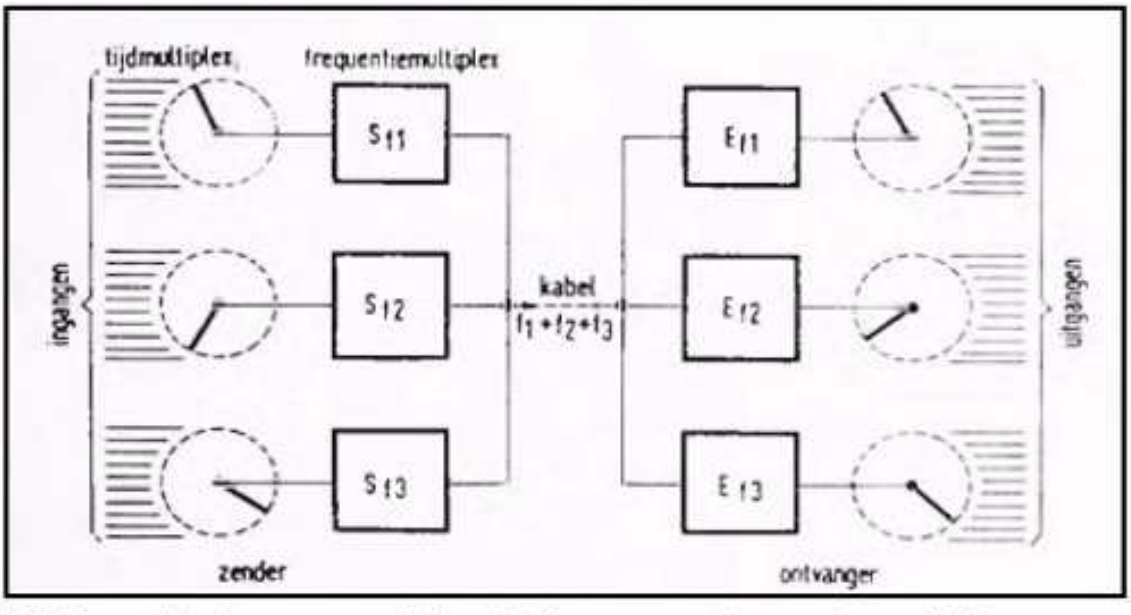


Fig. 107. De verbinding van een tijd-multiplexe en een frequentie-multiplexe meervoudige benutting van een verbinding tussen twee plaatsen. Via de kabel komen de drie verschillende frequenties f_1, f_2, en f_3.

In fig. 107 is de verbinding van een „tijd-multiplex"- met een „frequentie-multiplex"-inrichting voor het overdragen van signalen over een grote afstand weergegeven. Voor de synchronisatie van het tijdmultiplexe meervoudige gebruik is de overdracht van extra impulsen noodzakelijk. De frequentieband $f_1 + f_2 + f_3 + \ldots + f_n$ (van elk 120 Hz breed) kan natuurlijk ook draaggolffrequent worden overgedragen, ook is – zoals reeds vermeld – de modulatie van een radiozender mogelijk. In vele gevallen is de overdracht van een bepaalde schakeltoestand (bijv. de toestanden „ingeschakeld" en „uitgeschakeld") voldoende; in dit geval betreft het een eenvoudig systeem, dat ook voor afstandsbesturing kan worden toegepast. Toepassingen voor digitale inrichtingen voor het overdragen van signalen over grote afstand vindt men bij de elektriciteitsverzorgende instellingen, bij de spoorwegen en de posterijen, in de gas- en waterverzorging alsmede bij aardolieleidingen.

Het multiplex-systeem BRT 604 voor de telecommunicatie en afstandsbesturing

Met dit systeem is de afstandsbesturing van apparaten mogelijk, alsmede de terugmelding van schakelaarstanden van resp. naar een centrale bedieningsplaats. Deze inrichting kan met het multiplexsysteem BRT 708 en 709 voor het meten op afstand worden gecombineerd. Aan de zendzijde worden de binaire informaties in telegrafie-gelijkstroomsignalen omgezet, waarmee dan een wisselstroom-telegrafiezender wordt gemoduleerd. Aan de ontvangzijde geschiedt de demodulatie door een wisselstroom-telegrafie-ontvanger. Van hieruit komen de gelijkstroomsignalen bij de multiplex-ontvanger, die in binaire eenheden omzet, die dan in een geheugen worden vastgehouden.

Links in het schema van fig. 107 is de zendzijde van het systeem, rechts de ontvangzijde weergegeven. De tweepolige ingangen van de ontvanger zijn aan een wisselcontact (binaire informatiebron) van de voorgeschakelde apparatuur aangesloten. Afhankelijk van de stand van dit wisselcontact bevindt zich een bepaalde ingangskring in „rust"- of „werk"-stand (polariteit − of +). Telkens zijn 13 ingangen tot een groep samengenomen. Anderzijds zijn per multiplex maximaal 12 groepen mogelijk. Daardoor ontstaan in totaal 12 × 13 = 156 ingangen. Fig. 108 toont het principe van dit systeem.

De over te dragen informatie komt overeen met de stand van een ingangskring op een bepaald tijdstip. De elektronische multiplex is in staat, in korte

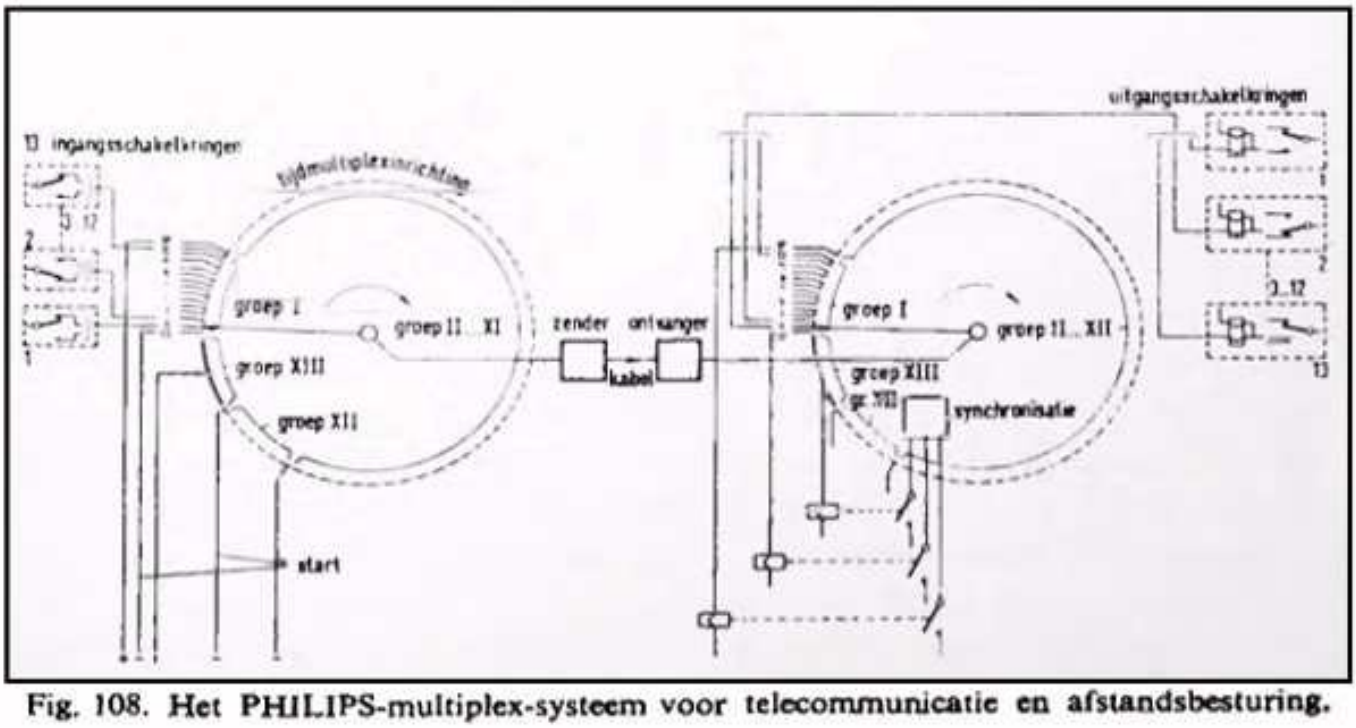


Fig. 108. Het PHILIPS-multiplex-systeem voor telecommunicatie en afstandsbesturing.

tijd de standen van alle ingangskringen over te dragen; deze worden in een cyclische volgorde continu afgetast en achtereenvolgens via een impulszender naar de kabel geleid.

In de impulsontvanger verdeelt een elektronische ontvangverdeler de impulsreeks weer zodanig, dat ieder tekenelement bij het juiste uitgangselement van de multiplex terechtkomt. Daardoor wordt dit uitgangselement in de toestand gebracht, welke overeenkomt met die van de zender. De aftasttijd wordt door de tijdbasis bepaald, waarmee het aftasten geschiedt; deze bedraagt per ingangskring 20 ms (overeenkomend met 50 Baud) (fig. 109).

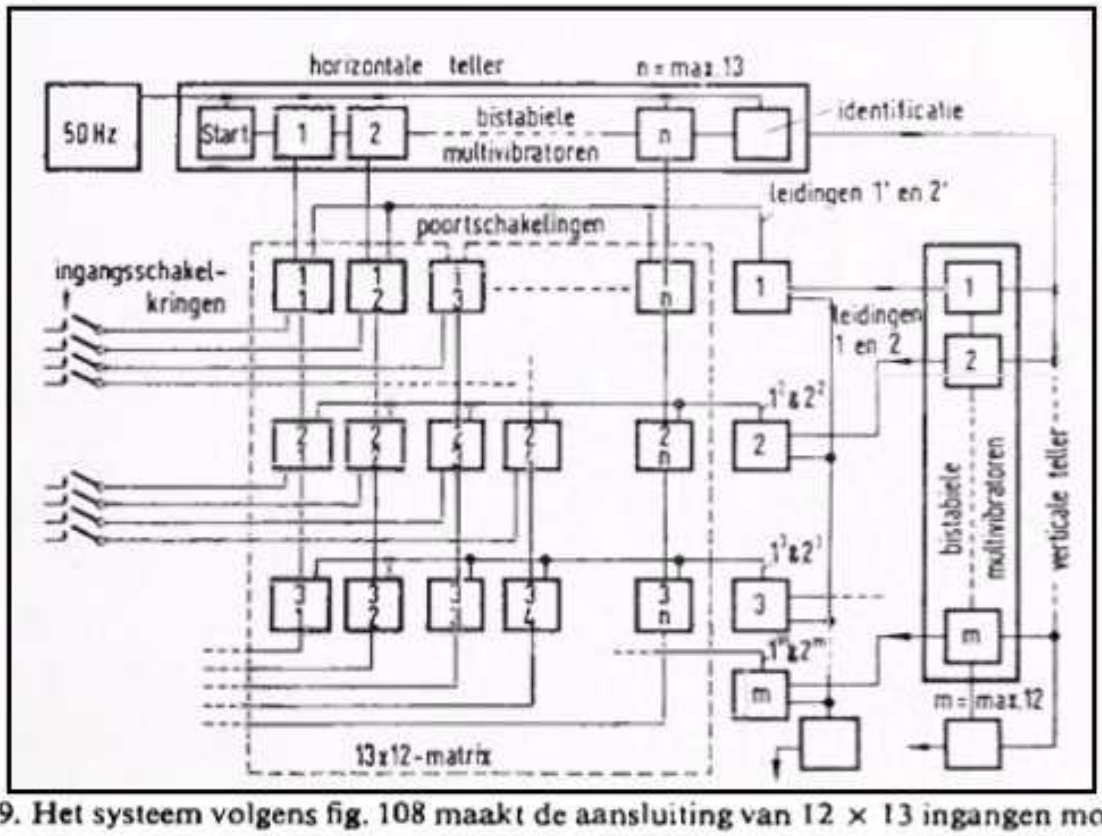


Fig. 109. Het systeem volgens fig. 108 maakt de aansluiting van 12 × 13 ingangen mogelijk.

Een reeks positieve en negatieve telegrafietekenelementen wordt in groepen verdeeld uitgezonden (fig. 110). De tijdelijke stand van ieder element, betrokken op het eerste element (startelement met vaste polariteit) van de desbetreffende groep, bepaald het positienummer van de ingangskring binnen de groep. De polariteit geeft de stand van het wisselcontact (en daardoor ook van het gecontroleerde apparaat) aan.

Het laatste element van iedere groep is een identificatie-element, dat over het algemeen de stop-polariteit bezit. De groep bestaat dus uit een startelement, 13 informatie-elementen en een stop-element, d.w.z. uit 15 ele-

menten met ieder een duur van 20 ms. De cyclustijd per groep bedraagt dus 15 × 20 ms = 300 ms. De 12e groep van een volledige multiplex-cyclus bevat een identificatie-element met tegengestelde polariteit t.o.v. de identificatie-elementen van de overige groepen. Op deze groep volgt een 13e groep, bestaande uit 15 stopelementen. De hulpsignalen (start, stop, verlengde stop) hebben tot taak, de zender en de ontvanger te synchroniseren. Een volledige multiplex-cyclus over 156 ingangskringen duurt dus bij een telegrafeersnelheid van 50 Baud 13 × 300 ms = 3900 ms = 3,9 s.

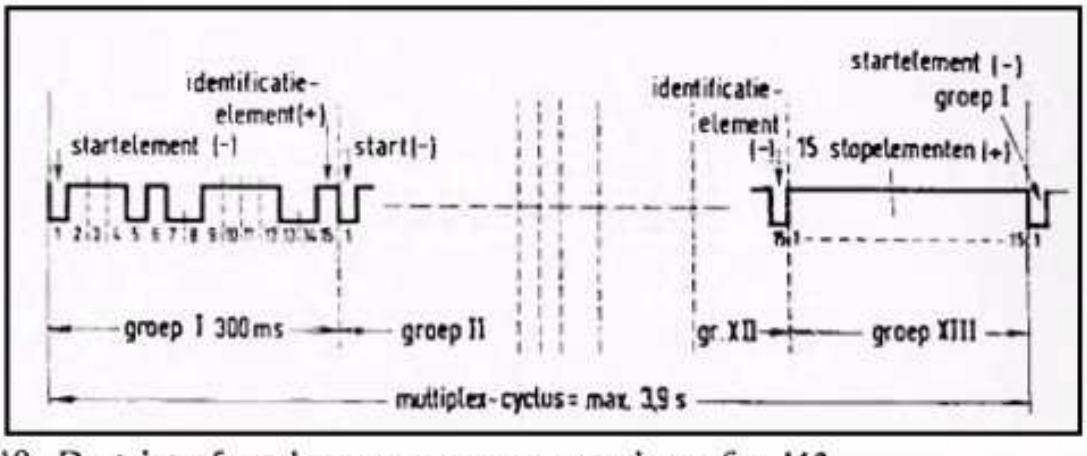


Fig. 110. De telegrafeertekens van een groep volgens fig. 113.

Geschiedt de overdracht m.b.v. wisselstroom-telegrafiekanalen, dan kunnen 24 × 156 = 3744 standen in 3,9 s via een telexkanaal met 3400 Hz bandbreedte worden doorgegeven, hetgeen overeenkomt met een informatiestroom van 3744 bit (zie blz. 150).

Werking van de zendschakeling

De „in/uit"-standen van de ingangskringen aan de zendzijde worden door een groep van 12 × 13 getransistoriseerde poortschakelingen overgenomen. Deze ingangsgroep bestaat dus uit een tweedimensionale matrix, opgebouwd uit 13 „horizontale" en 12 „verticale" poortschakelingen. Met twee cyclische, getransistoriseerde telschakelingen – een horizontale en een verticale teller – wordt de stand van iedere poortschakeling in cyclische volgorde afgevraagd. Allereerst geschiedt dit bij de eerste horizontale rij, daarna volgt de tweede rij enz.

De stand van iedere poortschakeling wordt via twee verbindingswegen aan een schakelpoort medegedeeld. Voor iedere horizontale rij is een afzonderlijke schakelpoort aanwezig. Deze schakelpoorten geven de ont-

vangen informaties via een fase-omkeerschakeling en via een enkele uitgangspoort aan een uitgangseenheid door, die tenslotte de telegrafiezender stuurt. Op deze wijze worden de „in/uit"-standen van de verschillende ingangsschakelingen in cyclische volgorde afgevraagd en via de kabel doorgegeven.

De horizontale teller

De horizontale teller bestaat uit een keten van bistabiele multivibratoren (zie blz. 11), die alle – op één na – in ruststand staan. Deze telketen ontvangt om de 20 ms (bij een telegrafeersnelheid van 50 Baud) uit een relaxatie-oscillator een impuls. Bij iedere impuls wordt de werkstand aan de volgende multivibrator doorgegeven. Daardoor wordt achtereenvolgens van de uitgang van elke trap van de horizontale teller een impuls van 20 ms afgegeven.

Iedere trap van de horizontale teller is met m zenderpoortschakelingen verbonden, die normaliter zijn gesloten. Deze zenderpoorten zijn op hun beurt via contacten met het te controleren deel van de installatie verbonden. De poorten van iedere (verticale) rij worden slechts dan geopend, wanneer de overeenkomstige horizontale teltrap zich in de werkstand bevindt. Deze toestand duurt 20 ms. In deze periode worden tekenelementen, waarvan de polariteit van de stand van de afgevraagde contacten afhankelijk is, aan de uitgangen 1^1, 1^2 tot 1^m toegevoerd. Tekenelementen van tegengestelde polariteit komen aan de uitgangen 2^1, 2^2 tot 2^m.

Blijft de ingang van een zenderpoort zonder spanning (bijv. tengevolge van draadbreuk of van een ongewenste aardverbinding), dan hebben de beide tekenelementen aan de uitgang van de poort dezelfde polariteit. Deze afwijking wordt in de ontvanger automatisch geregistreerd en schakelt een alarm in. De controle van de ingangskring geschiedt dus automatisch.

De uitgangen van de zenderpoorten van iedere horizontale groep zijn parallel geschakeld. Daar de verticale rijen zenderpoorten na elkaar in afstanden van elk 20 ms worden geopend, komen aan de leidingen 1^1 en 2^1, 1^2 en 2^2 . . . (1^m en 2^m) en 2^m impulsreeksen.

In de totale opbouw bestaat de horizontale teller uit een eerste trap, waarop n trappen volgen en een afsluittrap. Zoals reeds vermeld, zijn de n trappen met de zenderpoorten verbonden. De uitgang van de eerste trap ligt aan een startpoort, de uitgang van de laatste trap aan een identificatiepoort.

De verticale teller

De verticale teller (fig. 111) bestaat eveneens uit een aantal multivibratoren, echter wordt deze teller door de laatste trap van de horizontale teller gestuurd. De uitgangskring van iedere trap is met de overeenkomstige schakelpoort verbonden. Een schakelpoort opent slechts dan, wanneer zich de overeenkomstige verticale tellertrap in arbeidsstand bevindt. Op deze wijze worden de uitgangsleidingen I en II achtereenvolgens met 1^1 en 2^1 en daarna met 1^2 en 2^2 . . . 1^m en 2^m verbonden.

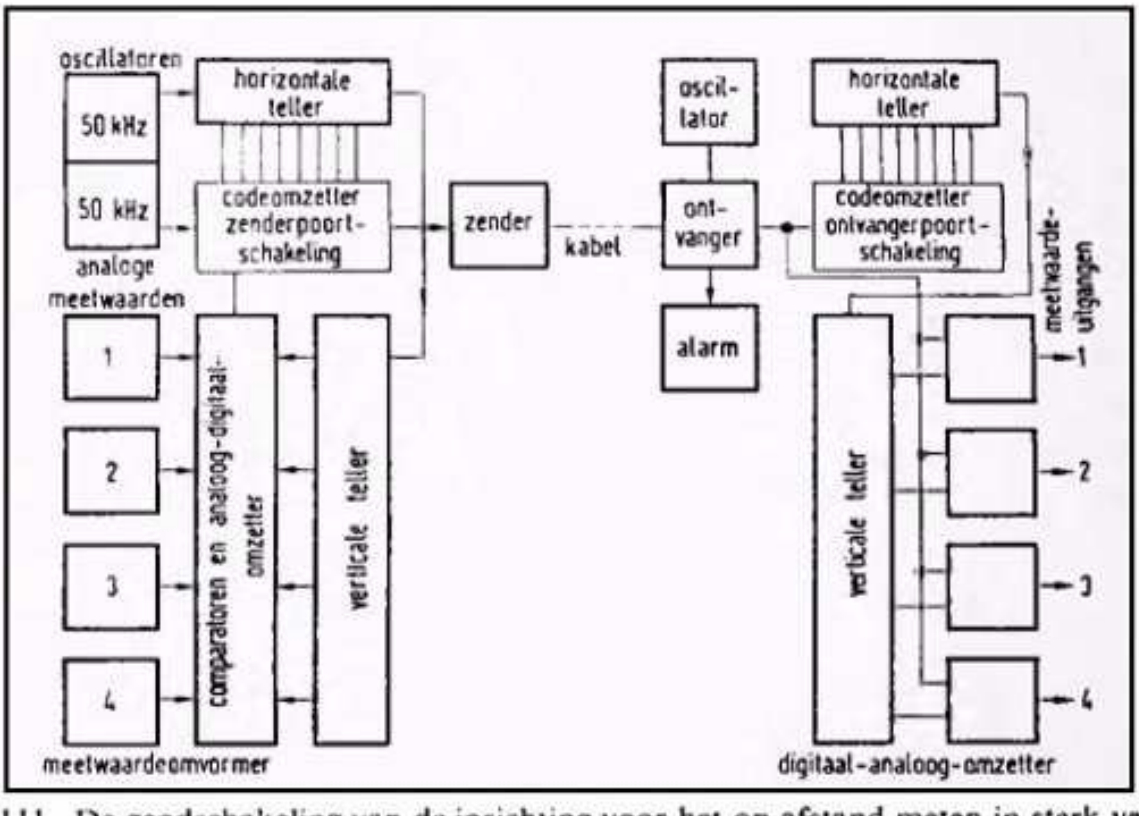


Fig. 111. De zendschakeling van de inrichting voor het op afstand meten in sterk vereenvoudigde vorm. De multiplex-schakeling werkt volledig elektronisch.

Na een volledige cyclus van de horizontale teller ($n + 2$ tijdseenheden) zouden dus $n + 2$ stopelementen via de kabel worden uitgezonden. De telegrafiezender wordt telkens na een volledige cyclus afwisselend door de telegrafie-elementen van de leidingen I en II gemoduleerd.

Op beide leidingen zijn de polariteiten van de elementen identiek, voorzover geen storingen in de zenderpoortschakelingen optreden. Is echter een bepaalde zenderpoort gestoord, dan wordt na iedere cyclus de polariteit van het met deze poort overeenkomend element gewisseld. Deze wisseling in de stand van het zendercontact aan een ingangspoort zal eveneens in een

polariteitsverandering van het overeenkomstige element tot uitdrukking komen.

De ontvanger

Nadat de impulsreeks door de telegrafie-ontvanger is gedemoduleerd (het frequentie-multiplexe meervoudige gebruik van de verbinding), worden de impulsen (elementen) aan een stuurschakeling toegevoerd. Dit is een multivibrator, waarvan de stand bij de ontvangst van een eerste startelement van een bepaalde groep omslaat. Daardoor wordt een 100-Hz-relaxatie-oscillator gestart.

Achter deze oscillator ligt een frequentiedeler, die telkens na 10, 30 50, 70 ms enz., impulsen afgeeft (d.w.z. met een frequentie van 50 Hz) waarmee een horizontale teller wordt gestuurd. De trappen van de horizontale teller geven dus na elkaar een impuls van 20 ms af. Aan het einde van de telcyclus wordt de werking gestopt.

De door de trappen van de horizontale teller afgegeven impulsen worden gedifferentieerd, er ontstaan twee naaldimpulsen van tegengestelde polariteit. Slechts de negatieve impuls (de achterflank van het gedifferentieerde element) wordt gebruikt; dit is de leesimpuls.

De ontvangen impulsreeks komt bovendien in een fase-omkeerschakeling met twee uitgangen. Aan ieder van deze uitgangen verschijnt de impulsreeks, de overeenkomstige elementen bevinden zich echter in tegenfase. Beide impulsreeksen worden aan schakelpoorten toegevoerd, die normaliter zijn gesloten. Een van de poorten wordt geopend, wanneer de hiermee verbonden trap van een verticale teller zich in arbeidsstand bevindt. De geopende schakelpoort zal dus twee in hun fase verschillende impulsreeksen doorlaten, die parallel in n ontvangstgeheugens (maximaal 13) worden opgeslagen. In totaal zijn er in de ontvanger $n \times m$ geheugens aanwezig, die ieder uit een multivibrator en een relais bestaan. Het betreft hier uitgangsgroepen, die een indeling vertonen, welke met die van de ingangspoortschakeling in de zender overeenkomt, nl. m horizontale groepen met elk n elementen (zie fig. 112).

Elke trap (tot een maximum van n) van de horizontale teller is met m multivibratoren verbonden, die normaliter zijn geblokkeerd; slechts door een leesimpuls uit de horizontale teller kunnen zij omschakelen. Op een bepaald tijdstip kan steeds slechts één multivibrator zijn stand veranderen, nl. die, welke enerzijds een leesimpuls ontvangt en anderzijds een element

uit de impulsreeks toegevoerd krijgt. Dit element vertoont de tegengestelde fase van een overeenkomstig element van de voorgaande cyclus.

Bij iedere multivibrator behoort een relais, dat de stand van de multivibrator inneemt, welke in de vergelijkingsschakeling met het overeenkomstige element van de cyclus wordt vergeleken. Bestaat er geen overeenstemming, dan spreekt het relais in de alarmeenheid aan. De tijdconstante van dit relais is iets groter dan de duur van een cyclus. Verandert de multivibrator bij iedere cyclus zijn stand (zenderpoortschakeling gestoord),

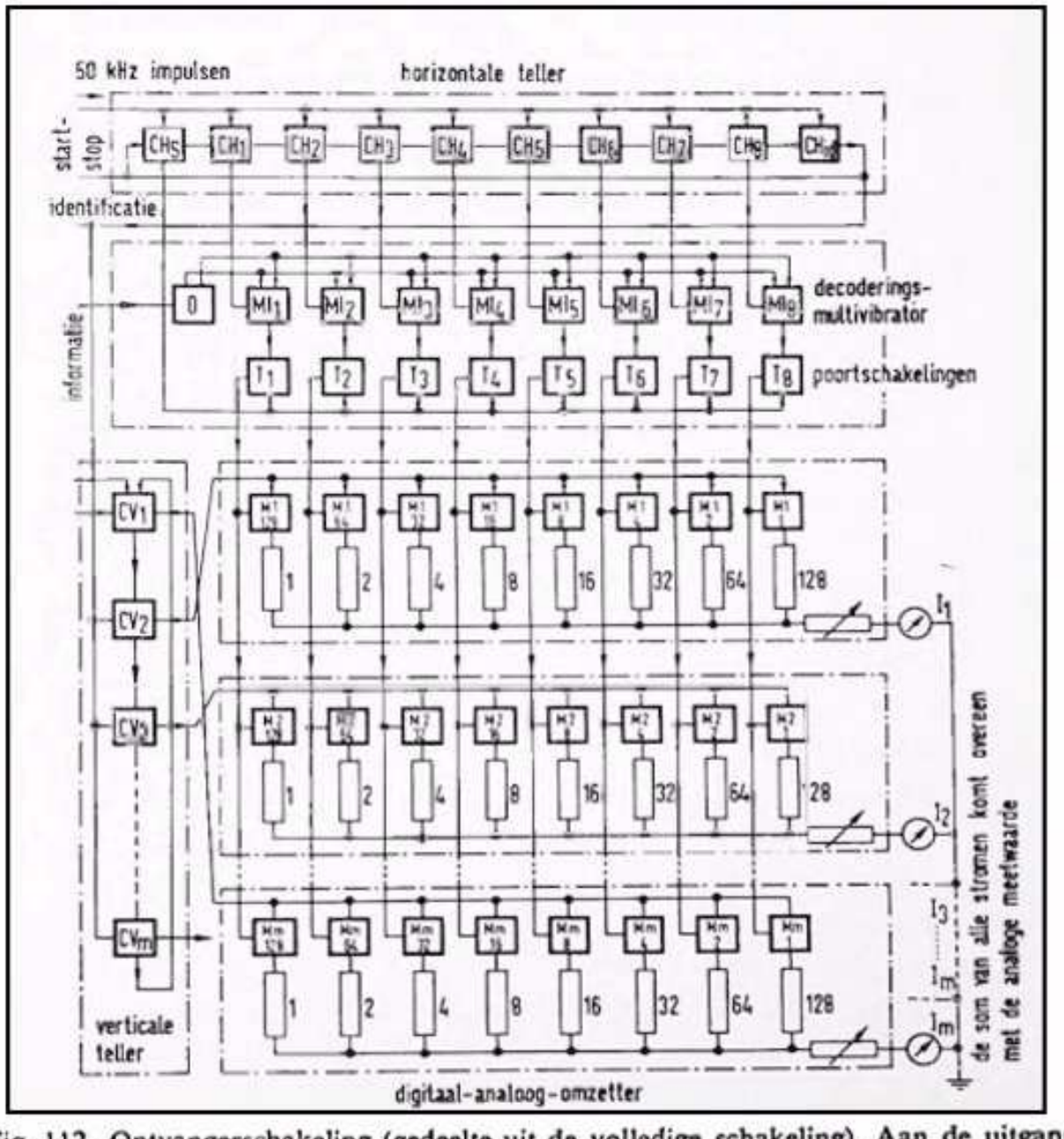


Fig. 112. Ontvangerschakeling (gedeelte uit de volledige schakeling). Aan de uitgangen (rechts) komen analoge stroomwaarden (de over lange afstand overgedragen meetwaarden).

dan blijft het alarmrelais constant ingeschakeld. Wanneer de multivibrator de beide parallel ontvangen maar tegengesteld gerichte impulsen niet juist verwerkt, heeft dit eveneens een alarm tot gevolg (ontvanger- of polariteitsalarm).

Het omslaan van een multivibrator geschiedt slechts bij de ontvangst van de leesimpuls. Door de frequentiedeling in de oscillatorkring valt deze impuls in het midden van het ontvangen tekenelement van 20 ms. Een eventueel uitvallen van de synchronisatie tussen de zender en de ontvanger of een telegrafiestoring, die in een verlenging of verkorting van de impulsen van 20 ms tot uitdrukking komen, wordt daardoor opgevangen. Storingen tot 45% zijn toelaatbaar. Het aantal informatie-elementen per groep wordt door het cumulatieve effect van de tekenvervorming beperkt. Dit bedraagt max. 15 tekens.

De start- en stopelementen in de impulscyclus zorgen ervoor, dat ieder tekenelement uit de impulsreeks aan een bepaald uitgangsrelais wordt toegevoerd.

De synchronisatie

De $(m + 1)$e groep uit de impulsreeks, die slechts uit stopelementen bestaat, zorgt voor de synchronisatie van de horizontale teller in de zender en de ontvanger. In de ontvanger worden alle trappen van de verticale teller (een enkele uitgezonderd) door de laatste trap van de horizontale teller gestuurd. De eerste trap van de verticale teller kan evenwel slechts dan door dit signaal worden beïnvloed, wanneer het identificatie-element in de ontvangen impulscyclus een startpolariteit bezit. Dit is voor de *me* groep in de reeks het geval.

Tussen de laatste trap van de horizontale teller en de eerste trap van de verticale teller is een poortschakeling aangebracht, die op dit identificatie-element aanspreekt. Wanneer dus bij het begin van de multiplex-overdracht of na een storing in de leiding de zender en de ontvanger niet gesynchroniseerd zijn, wordt bij in werking stellen eerst de horizontale teller gesynchroniseerd en daarna de verticale teller. In alle gevallen geschiedt de synchronisatie binnen twee volledige cycli van het multiplex-systeem.

Het multiplex-systeem BTR 708/709 voor afstandsmetingen

Met dit systeem voor het overdragen van signalen over grote afstand kan een groot aantal continu variërende informaties via een kabelverbin-

ding worden overgedragen. In tegenstelling tot het systeem BTR 604, waarbij telkens slechts de schakeltoestanden „in" en „uit" konden worden overgedragen, maakt dit systeem de overdracht van analoge meetwaarden tussen 0 en 10 mA of −5 en +5 mA resp. van spanningen tussen −2,5 en 2,5 V mogelijk (zie ook fig. 113). De meetwaarde-omvormers aan de meetobjecten dienen zodanig te worden aangepast, dat deze elektrische uitgangswaarden aan de overdrachtsinrichting worden aangeboden.

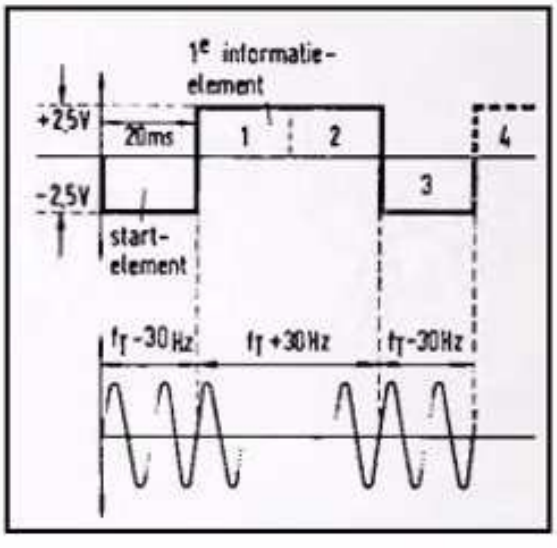


Fig. 113. De gelijkstroomimpulsen (boven) worden in wisselstroomimpulsen met verschillende frequenties (onder) omgezet (wisselstroomtelegrafie-tekens).

Het beschreven multiplex-systeem, dat uit de horizontale teller, de verticale teller en de poortschakelingen bestaat, wordt ook voor de sturing van de analoog-digitaal-omzetter alsmede de daarbij behorende binaire of decimale tellers, de decodeereenheden met het ontvangstgeheugen van de systemen BTR 708/709 gebruikt. De codewoorden van de verschillende meetwaarden worden cyclisch afgevraagd en via de zender aan de ontvanger medegedeeld. Hier geschiedt de demodulatie. De daarbij terug-ontvangen gelijkstroomimpulsen worden daarna aan de decodeer- en geheugeneenheid toegevoerd en tenslotte in analoge waarden omgevormd (systeem BTR 708). In het systeem BTR 709 kan de in decimaal-code ontvangen meetwaarde aan een indicator met oplichtende cijfers (bijv. een tableau) zichtbaar worden gemaakt of m.b.v. een drukker worden geregistreerd. Voor het verkrijgen van een meetwaarde wordt een impuls- (element)-groep met een informatie-inhoud van 13 bit gebruikt.

Onder deze omstandigheden kunnen 12 afstandsmetingen met één telexkabel worden uitgevoerd, dat zijn 12 × 24 afstandsmetingen over één kabel.

De codering van de meetwaarden

De met de meetwaarde proportionele gelijkspanning wordt met een normale

spanning vergeleken, die lineair met de tijd stijgt (zaagtand). Gedurende deze tijd geeft een oscillator met een frequentie van 50 kHz telimpulsen af. De telling wordt gestopt op het ogenblik, dat de beide spanningen gelijk zijn. De werking van een dergelijke analoog-digitaal-omzetter wordt op blz. 53 beschreven. De telling kan of duaal (systeem BTR 708) of duaal-decimaal (systeem BTR 709) geschieden. Het aantal doorgelaten impulsen is direct evenredig met de te meten spanning, d.w.z. de meetwaarde.

Voor de omvorming van de meetwaarde zijn in het multiplex-systeem maximaal 5 ms beschikbaar. Daar de frequentie van de pilootoscillator 50 kHz bedraagt, kan daardoor het aantal bij de teller komende impulsen tussen 0 en max. 250 liggen. Dat wil zeggen, dat de tijd en dus ook de meetwaarde met een nauwkeurigheid van 1 : 250 ofwel $4^0/_{00}$ kan worden bepaald.

De binaire codewoorden worden binnen 5 ms in de tellerschakelingen geregistreerd en in de bij deze schakelingen behorende zenderpoortschakelingen opgeslagen. Wordt nu met de duale code gewerkt (systeem MTR 708), dan zijn acht poortschakelingen noodzakelijk. Het maximale aantal binaire impulsen, dat daarmee kan worden opgeslagen, bedraagt $2^8 - 1 = 255$ (zie blz. 89). De toestand van elk van deze poortschakelingen wordt nu bij een snelheid van 50 Baud m.b.v. een elektronische teller in cyclische volgorde afgetast en via een telegrafiezender aan het ontvangstation medegedeeld. Voor de synchronisatie wordt aan iedere code-impulsreeks een start- en een stopteken toegevoegd. De vereiste overdrachtstijd voor een enkele meetwaarde in de duale code bedraagt dus (1 + 8 + 1) maal 20 ms = 200 ms. Daarna kan de volgende meetwaarde van dezelfde of van een andere meetplaats worden overgedragen.

De horizontale teller, zendzijde

De teller bestaat uit een cascadeschakeling van bistabiele multivibratoren. Iedere trap van de teller is met een zenderpoortschakeling verbonden, die in ruststand gesloten is. Deze zenderpoortschakelingen van 1 tot *n* zijn aan de uitgangen van de binaire of decimale tellers aangesloten. Werd in deze tellers een bepaalde code geregistreerd, dan bevinden zich de uitgangen van de zenderpoortschakelingen overeenkomstig deze code in rust- of arbeidsstand. De uitgangen zijn parallel geschakeld en met de stuurkring van de telegrafiezender verbonden.

De door de horizontale teller opgewekte 20-ms-impulsen worden nu

achtereenvolgens aan de zenderpoortschakelingen toegevoerd, waardoor in cyclische volgorde steeds slechts een van de zenderpoortschakelingen wordt geopend. Aan een van de twee uitgangen van een geopende zenderpoortschakeling verschijnt een tekenelement, waarvan de polariteit van de toestand van de zenderpoortingang afhankelijk is. Via de leiding I naar de zenderstuurschakeling wordt dus een impulsreeks overgedragen (zie fig. 109). Op hetzelfde ogenblik wordt aan de andere uitgang (II) van de desbetreffende zenderpoortschakeling een tekenelement met tegengestelde polariteit afgegeven. De zender-stuurkring krijgt dus twee impulsreeksen van tegengestelde polariteit. In de stuurkring wordt daarna een van de reeksen omgepoold.

Van de beide reeksen, die nu dezelfde polariteit hebben, wordt per cyclus afwisselend de ene of de andere reeks aan de telegrafiezender toegevoerd. Ligt aan de ingang van een zenderpoortschakeling geen spanning (bijv. tengevolge van draadbreuk of van een ongewenste aardverbinding), dan hebben de beide elementen terstond aan de uitgang van de zenderpoortschakeling dezelfde polariteit; de storing wordt in de ontvanger automatisch geconstateerd.

De horizontale teller bestaat uit $n + 2$ trappen. Zoals reeds vermeld, zijn de n trappen met de zenderpoortschakelingen verbonden. Aan de uitgang van de eerste trap is de start-poortschakeling aangesloten, die een impuls met startpolariteit opwekt. De uitgang van de laatste trap wordt met een identificatiepoortschakeling verbonden, die aan de zenderingang een impuls met stop-polariteit toevoert.

De verticale teller, zendzijde

De verticale teller bestaat eveneens uit een cascadeschakeling van bistabiele multivibratoren, zoals reeds op blz. 35 werd uiteengezet.

De uitgang van de multivibratortrap is met de overeenkomstige vergelijkingsschakeling in de analoog-digitaal-omzetter verbonden. Deze vergelijkingsschakelingen zijn in rustand gesloten; zij worden geopend, wanneer de overeenkomstige verticale tellertrap in de arbeidsstand omschakelt. De uitgangen van alle vergelijkingsschakelingen liggen parallel en zijn via de stuurkring met de ingangskring van de binaire resp. decimale teller verbonden.

De verticale teller bestaat uit $(m + 1)$ multivibratortrappen. Bevindt zich de laatste trap m in arbeidsstand, dan wordt het uitgangssignaal van de

identificatiepoortschakeling omgepoold. Dit heeft tot gevolg, dat enkel en alleen het identificatie-element van de groep m (laatste informatiegroep) startpolariteit i.p.v. stoppolariteit bezit, zoals deze voor alle andere overige identificatie-elementen wordt gegeven.

Zodra de laatste trap (stop) van de verticale teller in arbeidsstand is gekomen, wordt de zenderstuurschakeling geblokkeerd, zodat geen impulsen meer bij de telegrafiezender kunnen komen. Gedurende een volledige cyclus van de horizontale teller ($n + 2$ tijdseenheden) worden dus $n + 2$ stopelementen uitgezonden.

Het aantal registraties per meetwaarde en per tijdseenheid

Per multiplex-systeem kunnen m verschillende meetwaarden worden overgedragen. Iedere impulsreeks van een multiplex-cyclus bestaat dus uit m codegroepen. Hierbij komt nog een $(m + 1)$e groep, die enkel en alleen uit stopelementen voor de synchronisatie van zender en ontvanger bestaat. De multiplex-cyclusduur bedraagt dus: $(m + 1) \times$ (overdrachtsduur per groep). Voor deze laatste zijn bij een duale code-overdracht van de meetwaarde 200 ms noodzakelijk (zie blz. 142). Daar een multiplex maximaal twaalf groepen (m) bevat, wordt de multiplex-cyclusduur dus maximaal:
$(12 + 1) \times 200$ ms $= 2600$ ms $= 2{,}6$ s voor 12 meetwaarden en minimaal:
$(1 + 1) \times 200$ ms $= 400$ ms $= 0{,}4$ s voor een meetwaarde.

Een bepaalde meetwaarde wordt dus om de 0,4 tot 2,6 s geregistreerd resp. afgelezen. De herhalingstijd is afhankelijk van het aantal per multiplex-systeem overgedragen meetwaarden.

Binnen 2,6 s kunnen dus per multiplex 12 meetwaarden worden verkregen, dat zijn $24 \times 12 = 288$ meetwaarden via 24 telegrafiekanalen (WT-kanalen) van een telefoonkanaal met een bandbreedte van 3400 Hz.

Wordt een binair-decimaal-code toegepast, dan blijkt de overdrachtstijd per groep $(1 + 10 + 1) \times 20$ ms $= 240$ ms $= 0{,}24$ s te zijn. Alle overige getallen worden overeenkomstig verhoogd.

Wordt de installatie met het systeem BTR 604 gecombineerd, dan kan de overdrachtstijd per groep tot max. 300 ms stijgen.

De overdracht via lange-afstandsleidingen

Zoals beschreven werd, tast het zender-multiplex-systeem de toestand van de verschillende zenderpoortschakelingen, die aan de binaire resp. binair-

decimale tellers zijn toegevoegd, om de 20 ms af. Daardoor ontstaat een gelijkstroomimpulsreeks, die de stuurkring van een telegrafiezender sleutelt.

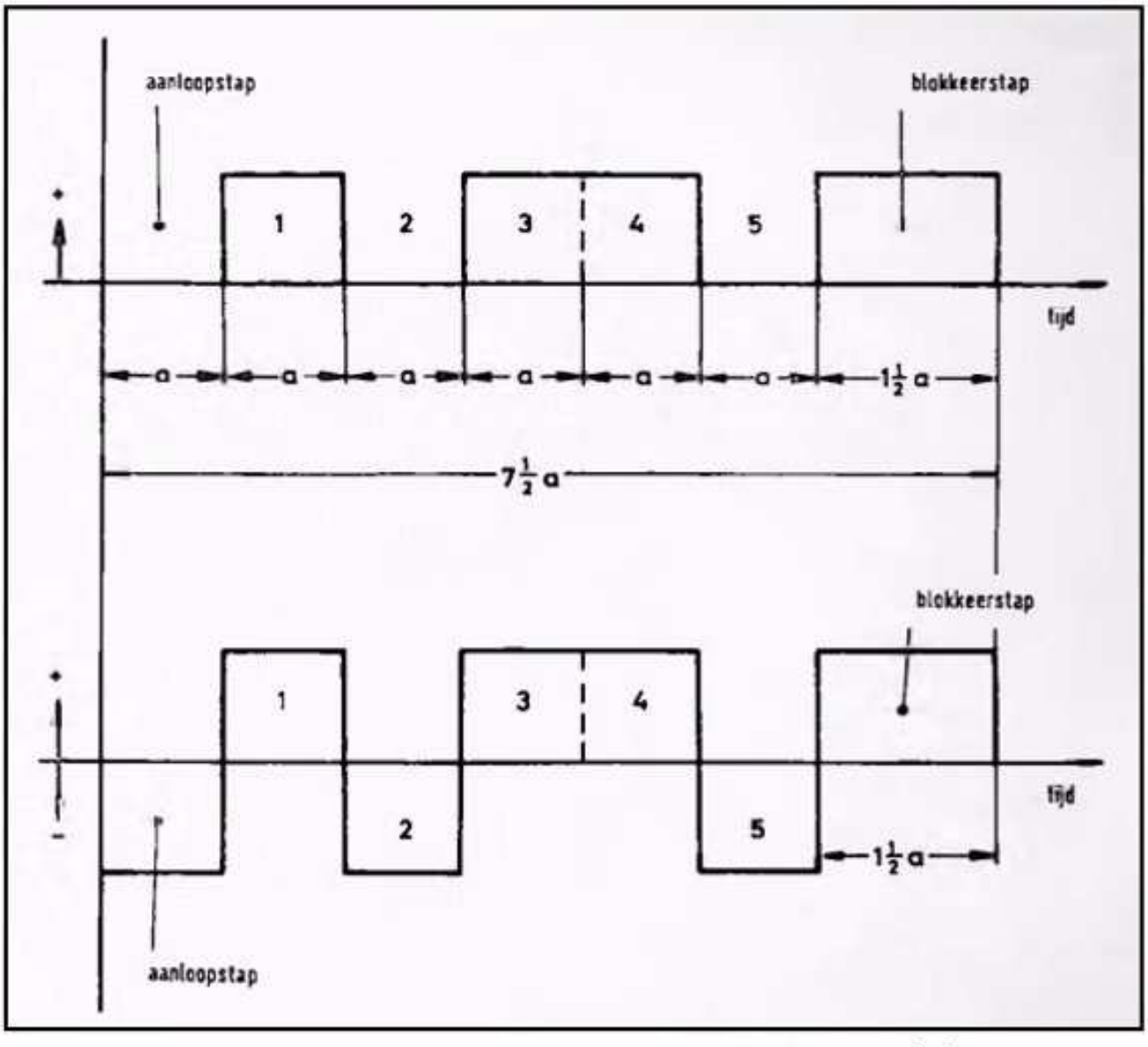


Fig. 114. De impulsen (stroomstappen) van de telex-code. boven: enkelstroomsysteem. onder: dubbelstroomsysteem.

De telegrafiezender werkt met frequentiemodulatie. De draaggolffrequentie kan een van de door de CCITT gestandaardiseerde telegrafiefrequenties (420 Hz tot 3180 Hz) zijn, die op een afstand van 120 Hz van elkaar liggen. De frequentie-omsleuteling bedraagt $\pm$ 30 Hz. De negatieve en positieve gelijkstroomimpulsen veranderen in wisselstroompakketten met een duur van 80 ms en met een frequentie $f_T - 30$ Hz en $f_T + 30$ Hz (zie fig. 113). De wisselstroom-telegrafie-elementen zijn natuurlijk in de beschreven groe-

pen verdeeld. De ligging in de tijd van ieder element betrokken op het eerste element (startelement, vaste polariteit) van de desbetreffende groep bepaalt het positienummer van de zenderpoortschakeling in de groep. Aan de ontvangzijde wordt de wisselstroomimpulsreeks in een telegrafie-ontvanger gedemoduleerd, waardoor weer een gelijkstroom-impulsreeks ontstaat. De werking van de ontvanger werd reeds op blz. 138 beschreven.

HOOFDSTUK 18

AANHANGSEL

Benamingen en begrippen van de digitale techniek

Absolute meting

De meetwaarde is door toepassing van een speciaal meetsysteem eenduidig en reproduceerbaar. Het tegengestelde hiervan is de relatieve meting, bijv. het incrementele systeem (zie blz. 38).

Alfabetische code

Codewoorden, die alleen uit letters zijn samengesteld.

Alfanumerieke code

Codewoorden, die uit letters en cijfers zijn samengesteld.

Analoog

Betekent een overeenkomstige voorstelling (zie blz. 53).

Analoge aanduiding resp. voorstelling

Een analoge aanduiding geschiedt bijv. door de uitslag van een wijzer van een meetinstrument; voorstelling in dezelfde verhouding in een andere fysische vorm bijv. weglengten door elektrische spanningen (zie blz. 53).

Analoge rekenautomaat

Een rekenautomaat, die i.p.v. de bij een berekening optredende getallen analoge fysische grootheden, zoals spanning en stroomsterkte gebruikt. Het verloop van de berekening wordt door koppeling van overeenkomstige schakelelementen gesimuleerd. De verkregen fysische grootheden komen overeen met het resultaat van de berekening met getallen. Foutengrens ca. 0,1 %.

Analoog-digitaal-omzetter

Met een analoog-digitaal-omzetter worden analoge grootheden in een digitale vorm omgezet (zie blz. 53).

Automaat

Een inrichting, die volgens ingevoerde bevelen automatisch een reeks bewerkingen uitvoert.

Automatie

Een automatisch verlopend proces, waarbij uit eigener beweging beslissingen worden genomen, zodra een storing optreedt (die alleszins moet zijn ingecalculeerd en in het informatiegeheugen werd vastgehouden). De machine neemt ook de laatste voor het bedienend personeel nog overblijvende functies over.

Automatisering

Zelfbesturing van machinesystemen; gebruik van automaten.

Baanbesturing (continue baanbesturing)

Besturing van de relatieve beweging van gereedschappen en werkstukken langs een vastgelegde baan van willekeurige vorm. Het tegengestelde hiervan is de puntbesturing en de trajectbesturing.

Baud

Korte aanduiding, Bd, een in de telegrafie gebruikelijke eenheid voor de stapsnelheid, bijv. van de telegrafeersnelheid. De eenheid Baud komt voort uit de vergelijking: stapsnelheid = 1/kortste stroomstap. De stapsnelheid is 1 Baud, wanneer de kortste stroomstap 1 s duurt. De naam werd ter ere van de Franse telegrafietechnicus Baudot gekozen.

Bedrijfswijze

De bedrijfswijze geeft aan, de wijze waarop de informatie van digitale apparaten wordt overgedragen (verwerkt). Men onderscheidt parallel- en seriebedrijf; bij de binaire code voor decimale cijfers (BCD-code) geeft de eerste uitdrukking de wijze van overdracht van de afzonderlijke cijfers (decaden), de tweede uitdrukking de wijze van overdracht van de afzonderlijke code-elementen van een cijfer aan. Ponsbandapparaten werken meestal in serie-parallel-bedrijf.

Bevel

Het bevel laat bijv. een rekenmachine (analoge of digitale rekenmachine) een functie uitvoeren.

Bevelcode

Symbolische voorstelling van de door een rekenmachine direct (bedrading) of indirect (programma) uit te voeren bevelen, meestal in de vorm van cijfer- en lettercombinaties. De bevelcode staat los van het fysisch effect (analoge grootheid).

Bevelvolgorde

Deze bevat de bevelen in de volgorde, waarin zij voor het uitvoeren van een rekenkundige bewerking of voor het besturen van een gereedschapmachine gebruikt worden.

Binair

Door twee tegengestelde mogelijkheden voor te stellen; bijv. ja – neen, positief – negatief, goed – fout, noordpool – zuidpool van een magneet, 0 — 1 resp. l — 0 (zie blz. 24).

Binair cijfer

Component van een binair getal; kan slechts de waarde 0 of 1 reps. L aannemen (vgl. cijfer).

Binaire code voor decimale cijfers

Voorstelling van de decimale cijfers als binaire getallen (vgl. getal en cijfer). De voorstelling van de decimale cijfers luidt:

0	O O O O
1	O O O L
2	O O L O
3	O O L L
4	O L O O
5	O L O L
6	O L L O
7	O L L L
8	L O O O
9	L O O L

Het betreft hier de tetradische 8 – 4 – 2 – 1 – code.

Binaire getallenreeks, juiste duale getallenreeks

Reeks van de duale getallen bijv. 1, 2, 4, 8, 16 enz.

Binaire getalvoorstelling

De voorstelling van getallen met binaire cijfers, zoals volgens het duale systeem, d.w.z. m.b.v. hele machten van 2 (zie blz. 22).

Binair-gecodeerde decimale voorstelling

Een voorstelling van de decimale cijfers, van een getal door een combinatie van binaire cijfers, bijv. binaire decimale code, telex-code.

Binair getal

Een binair getal is een getal in binair gecodeerde voorstelling. Het bestaat uit een of meer binaire cijfers (vgl. blz. 24).

Binair systeem (binaire code)

Iedere code, waarbij de woorden uit de binairtekens L en O zijn opgebouwd.

Biquinair gecodeerde decimale voorstelling

Een binair gecodeerde decimale voorstelling met een binair code-element („5" of „geen 5") en elementen met de waardigheden 4, 3, 2, 1 en 0.

$\bar{5}$ 5 4 3 2 1 0
O L O L O O O ≙ 8

De quibinaire codering heeft een binair code-element („1" of „geen 1") en elementen met de waardigheden 8, 6, 4, 2 en 0.

$\bar{1}$ 1 8 6 4 2 0
L O L O O O O ≙ 8 (zie blz. 52)

Bit

Een bit is een eenheid ter aanduiding van het aantal binaire stappen. Een binaire stap is de wisseling tussen twee tegengestelde toestanden bijv. de beide mogelijkheden in de telegrafie „teken" of „pauze" of „stroom" of „geen stroom" enz. Zowel de wisseling van „stroom" naar „geen stroom" alsmede die van „geen stroom" naar „stroom" wordt als bit beschouwd. De naam bit is ontstaan uit binary digit. De volgende eenheid wordt toegepast:
bit: capaciteit van een informatiegeheugen;

bit/s: berichtenstroom;
bit/s: overdrachtsmogelijkheid (ook capaciteit) van een kanaal.

Boole-algebra

Ook logische algebra genaamd (zie blz. 63). Wiskundige grondslag van de schakelalgebra (logische resp. functionele verbindingsschakelingen).

Buffergeheugen

Een tussengeheugen, dat informaties zolang bewaart, tot een ander machinedeel deze kan opnemen. Dit geheugen dient voor de overdracht van informaties tussen twee verschillende snel werkende delen van een automatisch systeem.

Capaciteit

Geheugencapaciteit van een kerngeheugen of een informatiedrager; wordt uitgedrukt in bit.

Cijfer

Cijfers zijn getaltekens, zij dienen voor de voorstelling van een getal. Gebruikelijk zijn de cijfers van het decimale stelsel. Het binaire talstelsel gebruikt de cijfers 1 en 0 resp. L en O. Een binair getal, bijv. een tetrade ziet er als volgt uit: OLLL (zie blz. 40).

Cijfer-rekenmachine

Digitale rekenmachine.

Code

Codering van informaties. Algemeen voorschrift, d.w.z. een aantal vaste regels met behulp waarvan meetgegevens uit de ene in de andere voorstelling worden omgezet.

Coderen

Het coderen van informaties m.b.v. een code.

Coïncidentie

Het in tijd en ruimte samenvallen van twee of meer binaire signalen.

Commando

Een impuls of signaal, dat bijv. een machinefunctie doet plaatsvinden bijv. start- en stopsignaal.

Complement

Het complement x' van een getal x m.b.t. een getalbereik Z is: $x' = Z - x$.
Voorbeelden a. $Z = 9$, $x = 7$, het complement $x' = 9 - 7 = 2$ (negen-complement);
b. $Z = 99$, $x = 87$, $x' = 12$ (negen-complement);
c. $Z = 10$, $x = 6$, $x' = 10 - 6 = 4$ (tien-complement);
d. $Z = 100$, $x = 87$, $x' = 100 - 87 = 13$ (tien-complement).

Complementair cijfer

L en O zijn complementen van L en O.

Complementair contact

Een contact, dat sluit, wanneer een ander bijbehorend contact wordt geopend. Rustcontact en werkcontact.

Computer

Volgens een programma gestuurde digitale rekenmachine.

Conjunctie

EN-functie
$0 \wedge 0 = 0, 0 \wedge 1 = 0$
$1 \wedge 0 = 0, 1 \wedge 1 = 1$
(zie blz. 63).

Converter (omzetter)

Een apparaat, dat de informaties van een informatiedrager op een andere overdraagt, bijv. ponskaart op ponsband, magnetische band op ponskaart enz. zie ook „analoog-digitaal-omzetter".

Cybernetica (stuurkunde)

Grensgebied van verscheidene wetenschappen (vooral van biologie en techniek) over stuur- en regelprocessen alsmede over informatieverwerking. Begrip van de informatietheorie. Was in de Oudheid de kunst, een schip te navigeren.

Cyclus

Een willekeurig grote vastgelegde groep van arbeids- resp. meetprocessen, die willekeurig vaak worden herhaald.

Decimaal cijfer

Component van een decimaal getal, die de waarde 0 — 9 kan aannemen.

Decimaal getal

Een getal in decimale getalvoorstelling. Het bestaat uit een of meer decimale cijfers.

Decimale getalvoorstelling

De weergave van getallen in het decimale stelsel, d.w.z. voorstelling m.b.v. de hele machten op basis van 10 (zie blz. 22).

Digit

Zie cijfer.

Digitaal (numeriek)

Tegengestelde van analoog, betekent „met getallen". Men onderscheidt digitaal incrementeel en digitaal gecodeerd (absoluut) (zie blz. 39). Met de vingers tellend; in eindig discrete eenheidsstappen (kwantisering) oplossen.

Digitale aanduiding

Numerieke aanduiding is een aanduiding met cijfers, dit in tegenstelling met analoge aanduiding door de uitslag van een wijzer van een meetinstrument.

Digitale rekenmachine

Ook als cijfer-rekenmachine aangeduid. Een rekenmachine, die getallen (cijfers) verwerkt, dit in tegenstelling met een analoge rekenmachine.

Disjunctie

„OF-functie": $0 \vee 0 = 0$
$0 \vee 1 = 1, 1 \vee 0 = 1, 1 \vee 1 = 1$
De disjunctie van twee variabelen is slechts 0, wanneer beide variabelen de waarde 0 hebben. In alle andere gevallen is het 1 (zie blz. 71).

Drukker, digitale drukker

Inrichting, waarmee de meetresultaten of de resultaten van de informatieverwerking in cijfers worden geregistreerd.

Duaal

Plaatswaardigheid van een getal volgens de machten van 2 gegroepeerd (duaal getal). Is een speciaal geval van binair (zie blz. 23).

Duaal getal

Getal, waarvan de plaatswaardigheid hele machten van 2 zijn. Voorstelling van een getal in het duale (tweetallig) stelsel. Voorbeeld LLOLOOL = $L \cdot 2^6 + L \cdot 2^5 + O \cdot 2^4 + L \cdot 2^3 + O \cdot 2^2 + O \cdot 2^1 + L \cdot 2^0$ ≙ het decimale getal 105.

Duaal systeem (duale code)

Getallensysteem met als basis 2 (zie blz. 22).

Ferriet-kern

Een ringkern-magneet (kern genaamd) bestaande uit ferrietmateriaal. Kleinste eenheid van het magnetische kerngeheugen, die voor het opslaan van een enkel binair cijfer dient. Het magnetisch veld van de ferriet-ring kan twee richtingen aannemen, waardoor de beide binaire cijfers O en L worden voorgesteld (zie blz. 86).

Flexowriter

Schrijfmachine met een daaraan aangesloten ponsbandmachine.

Flip-flop

Een multivibrator met twee stabiele schakeltoestanden, die onder bepaalde omstandigheden met de binaire cijfers L en O overeenkomen. Wordt in logische schakelingen gebruikt (zie blz. 11).

Fouten

De in de analoge meettechniek zeer belangrijke fouten-voortplantingswet geldt niet bij digitale systemen. Hierbij kunnen storingen optreden (ingeslopen of uitgevallen impulsen) die dan meetfouten in iedere orde van grootte veroorzaken (zie blz. 42).

Geheugen

Een apparaat voor het opslaan van informaties in binaire vorm. Er bestaan magnetische trommel-, magnetische kern-, magnetische plaat-, magne-

tische band-, buizengeheugens enz. (zie blz. 84). Bovendien bestaan er geheugens met multivibratoren, relais en telschakelingen.

Geheugencapaciteit

Het opnamevermogen van een geheugen, aangegeven door het aantal woorden resp. binaire of decimale plaatsen (zie blz. 84).

Getal

De getallen worden in een natuurlijke, hele, rationele, decimale, irrationale, algebraïsche, transcendente, complexe en algemene getallen verdeeld, waarbij afzonderlijke ondergroeperingen worden gemaakt. Het getal is een begrip uit de wiskunde. Getallen worden m.b.v. cijfers geschreven.

Gevoeligheid

Verhouding tussen ingangs- en uitgangsgrootheid bijv. van een meetapparaat, van een overdrachtsinrichting enz.; of ook kleinste nog afleesbare waarden van een analoog of digitaal meetinstrument.

Gray-code

Speciale vorm van een binaire code. Bij overgangen worden dubbelzinnigheden vermeden, de fout blijft beperkt tot een digit (zie blz. 48).

Hertz

Korte aanduiding Hz; eenheid voor de frequentie. De eenheid Hz ontstaat uit de vergelijking frequentie = 1/periodeduur. Definitie: 1 Hz is de frequentie van een periodiek proces met de periodeduur van 1 seconde: 1 Hz = 1/s = 1 s^{-1}. De naam werd ter ere van de natuurkundige Heinrich Hertz (1857/94) gekozen.

Impulsduur

Tijd tussen begin en einde van een impuls.

Impulsfrequentie

Aantal impulsen per s; de reciproke waarde van de impulsperiode.

Impulsgenerator

Apparaat resp. functie-eenheid in een systeem, dat een in tijd vastgelegde reeks impulsen afgeeft, die een bewerking sturen.

Impulspauze

Tijd tussen einde van de eerste en begin van de volgende impuls.

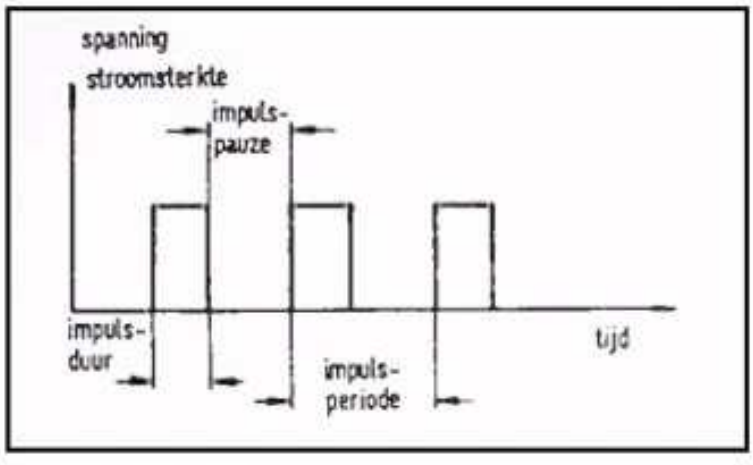


Fig. 115. Definitie van impulsduur, impulspauze en impulsperiode.

Impulsperiode

Tijd vanaf de ene impuls tot de volgende.

Impulsverhouding

Quotiënt uit impulsduur en impulsperiode.

Increment (incrementele telling)

Toename met even grote eenheden; zuiver telsysteem zonder gedefinieerd referentiepunt. Een incrementeel systeem werkt cumulatief, de impulsen worden opgesomd; hierdoor is vooruit- en achteruittellen mogelijk. (toepassing o.a. bij de automatische machinebesturing) (zie blz. 37).

Insteekeenheid

Een bouwelement met insteekcontacten, dat daardoor gemakkelijk verwisselbaar is (zie blz. 6).

Informatie

De informaties, bijv. de meetgegevens, die van meetopnemers, aan informatieverwerkende apparatuur resp. automatische rekenmachines worden toegevoerd resp. door deze apparaten worden afgegeven om verder te worden verwerkt.

Dat gedeelte van een bericht, dat voor de ontvanger onbekend is. De informatieparameters van een analoog signaal kunnen zijn: amplitude, frequentie, fase enz.

Informatiedrager

Meestal banden of kaarten bestaande uit kunststof, metaal of papier, waarop informaties in gecodeerde vorm door perforaties of in de vorm van magnetisch gepolariseerde plaatsen worden opgeslagen. Tot de informatiedragers behoren ponsbanden, ponskaarten, magneetbanden, magnetische schijven enz.

Inverter (negator)

Een binaire schakelketen, die de betekenis van een ingangsimpuls omkeert. Uit L wordt O en uit O wordt L. $\bar{L} = O$ en $\bar{O} = L$ resp. $\bar{1} = 0$ en $\bar{0} = 1$ (spreek uit : 1 geïnverteerd).

Kanaal

1. Overdrachtsweg, bijv. via een kabel. Deze begint bij de zender (invoer van informatie) (gegevens) en eindigt bij de ontvanger.
2. Een reeks in de aftastrichting achter elkaar liggende gaten in de ponsband; wordt ook vaak spoor (magnetische band) genoemd.

Kerngeheugen

Zie magnetisch kerngeheugen.

Kwantisering

Het ontbinden van een meetgrootheid in een eindig aantal kleinere eenheden (kwanten).

Lezen

Het „uitlezen" van informaties uit een geheugen.

Logisch

Functie resp. verbinding volgens de logische (Boole-) algebra. Dient zoveel mogelijk door „functioneel" of „Boole-" te worden vervangen.

Logisch schakelelement

Een schakelkring, die een of meer logische bewerkingen uitvoert.

Logische bouwsteen (digitale bouwsteen)

Bouweenheden met logische schakelingen (EN-, OF- en NIET-schakeling) (zie blz. 63).

Logische optelling

Met behulp van een „OF-schakeling"; teken +, beter (om vergissingen te voorkomen) het teken ∨ (zie blz. 70).
Verbinding van twee binaire waarden *a*, *b* naar *c* volgens onderstaand voorschrift:

a	*b*	*c*
1	1	1
1	0	1
0	1	1
0	0	0

Logische schakelingen

Schakelingen met twee of meer ingangen en een of meer uitgangen. Digitale ingangsgrootheden worden in de schakeling volgens de Boole-algebra verbonden.
Conjunctie EN-schakeling. Disjunctie OF-schakeling. Ontkenning NIET-schakeling. Ontkende disjunctie OF-NIET-schakeling (zie blz. 65).

Logische verbinding

Het leggen van een functioneel niet rekenkundig verband tussen twee of meer digitale signalen.

Logische vermenigvuldiging

Met behulp van een „EN-schakeling"; teken · resp. ×, beter △ resp. & (zie blz. 70).
Verbinding tussen twee binaire waarden *a*, *b* naar *c* volgens het onderstaande voorschrift:

a	*b*	*c*
1	1	1
1	0	0
0	1	0
0	0	0

Logistiek

Mathematische logica (Boole-algebra). Niet te verwarren met het woord logistiek uit het militaire spraakgebruik.

Magnetische band

Een informatiedrager, waarop binair gecodeerde informaties in de vorm van magnetisch gepolariseerde plaatsen worden opgeslagen. Evenals bij de ponsband zijn zij in kanalen (sporen) aangebracht.

Magnetische kern

Zie ferriet-kern (blz. 86).

Magnetische trommel

Een snel roterende cilinder met een magnetiseerbaar oppervlak. De informaties zijn in binair gecodeerde vorm in sporen aangebracht.

Magnetisch kerngeheugen

Een digitaal informatiegeheugen, waarvan de cellen uit ferrietkernen bestaan (zie blz. 86).

Matrix

In de wiskunde de benaming voor het schema, volgens hetwelk de coëfficiënten van lineaire vergelijkingen worden opgeschreven; in de digitale techniek verstaat men daaronder het schema (in rechthoekvorm) zoals bijv. in een geheugen de ferriet-kernen (of ook andere schakelelementen) zijn aangebracht (zie blz. 80). Bij een dergelijke matrix onderscheidt men regels en kolommen.

Multivibratoren

Elektronische schakelingen met buizen of transistors, die vooral voor logische schakelingen van belang zijn. Men onderscheidt:
a. astabiele multivibratoren;
b. monostabiele multivibratoren (monoflop);
c. bistabiele multivibratoren (flip-flop).

NAND-verbinding

Ontkend EN
$x_1 \triangle x_2 \triangle x_3 = \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3$ (zie blz. 71).

Negatie

Ontkenning, omkering (inverter) $\bar{0} = 1$ en $\bar{1} = 0$.

Negator

Inverter.

NOR-verbinding

Ontkend OF, het woord NOR is samengesteld uit neither-nor (noch-noch)
$\overline{x_1 \vee x_2 \vee x_3} = \bar{x}_1 \wedge \bar{x}_2 \wedge \bar{x}_3$ (zie blz. 72).

Numeriek

Met getallen, cijfers, digitaal.

Numerieke indicatie

Digitale indicatie, indicatie door cijfers.

Numerieke sturing

Sturingen, waarbij de bevelen door getallen (cijfers) worden uitgedrukt. Identiek met digitale sturing.

Omvormer

Inrichting voor het omvormen van energie, signalen, meetwaarden van een fysische grootheid in een andere. Voorbeelden: thermo-elementen, rekstrookjes enz. als meetwaarde-omvormers.

Opslaan

Een informatie in een geheugen bewaren.

Parallelaftasting

De code-elementen van een teken op een informatiedrager (bijv. de gaten in een ponsband) worden gelijktijdig afgetast.

Parallelbedrijf

Een operatie, waarbij
a. de afzonderlijke cijfers van een getal, of
b. de code-elementen van een cijfer gelijktig worden overgedragen of verwerkt.

Ponsband

Een veelvuldig gebruikte informatiedrager, waarop de informaties d.m.v.

gaten – binair gecodeerd – in een bepaalde opstelling worden vastgehouden. Gebruikelijk zijn ponsbanden met 8, 7 en 5 kanalen (zie blz. 84).

Ponser

Een ponser dient voor het ponsen van ponskaarten resp. ponsbanden.

Ponskaart

Een informatiedrager, waarin informaties d.m.v. gaten volgens een code in regels en kolommen worden vastgehouden.

Ponsschriftvertaler

Een machine, die de in ponskaarten geponste informaties in leesbare tekst omzet en op de ponskaart drukt.

Positioneren

Het in een bepaalde stand brengen van een werkstuk t.o.v. het gereedschap. Het bewegen van de slede van de machine in gedefinieerde coördinaten, waarbij het gereedschap niet tegen het werkstuk ligt.

Programma

De symbolische beschrijving van een bewerking bijv. bij de digitale informatieverwerking, bij de numerieke besturing van gereedschapsmachines of de berekeningen van een computer.

Programma, verloop van een –

Uitvoering van de rekenoperaties of bewerkingen volgens de in het programma voorgeschreven volgorde.

Programmeren

Het opstellen van een programma.

Puntsturing

Sturing van de relatieve bewegingen van gereedschappen en werkstukken, aan de hand van gedefinieerde punten (coördinaten, zie positioneren). Het gereedschap is daarbij niet in werking.

Reactietijd

De tijd tussen het begin van het opzoeken van een geadresseerde geheugencel en het einde van het transport uit of in de geheugencel.

Redundantie

Overschot aan de voor de voorstelling of verwerking van een informatie noodzakelijke binaire tekens (zie blz. 43).

$$R = \text{ld}\ \frac{\text{aantal mogelijke combinaties}}{\text{aantal gebruikte combinaties}}$$

Maateenheid: bit.

ld = logaritme op basis van 2 (duale logaritme)
Voorbeeld: Voor tetradische codes geldt: $R = \text{ld}\ 16 - \text{ld}\ 10 = 0{,}68$ bit.
(Het begrip redundantie wordt ook voor digitale schakelingen gebruikt.)

Regelafwijking

Verschil tussen vereiste en werkelijke waarde.

Regelen, regeling

Een proces, waarbij de werkelijke waarde van een meting voortdurend met de vereiste waarde wordt vergeleken en waarbij naar een benadering van de vereiste waarde wordt gestreefd.

Regelkring

Een gesloten kring, waarbij een fysische grootheid voortdurend gemeten (werkelijke waarde), teruggevoerd en met de vereiste waarde wordt vergeleken. Automatische aanpassing aan de vereiste waarde van de werkelijke waarde. Kan analoog en ook digitaal geschieden.

Register

Een geheugen met speciale functies, bijv. buffergeheugen.

Rekenkundige bewerking

Een rekenkundige verbinding, zoals bijv. de vier rekenkundige basisbewerkingen.
Gecompliceerde wiskundige bewerkingen moeten, indien zij m.b.v. elektronische rekenmachines dienen te worden uitgevoerd, „rekenkundig" worden gemaakt.

Schakelfuncties

Conjunctie – EN-verbinding (EN-schakeling)
Disjunctie – OF-verbinding (OF-schakeling)

Ontkenning – NIET-verbinding (negator – inverter)
(symbool: $\bar{a}$, spreek uit: a geïnverteerd)
Ontkende conjunctie – EN-NIET-verbinding
(NAND-functie)
Ontkende disjunctie – OF-NIET-verbinding
(NOR-functie)

Schmitt-trekker

Elektronische wipschakeling (zie blz. 12). Het uitgangssignaal kan slechts twee verschillende waarden aannemen, afhankelijk van het feit, of de ingangsspanning een bepaald spanningsniveau overschrijdt of onder dat niveau blijft.

Seriebedrijf

Een operatie, waarbij
a. de afzonderlijke cijfers van een getal of
b. de code-elementen van een cijfer na elkaar worden overgedragen (verwerkt).

Signaal

fysische vorm van een informatie
a. analoge voorstelling van een informatie; informatieparameters zijn: amplitude, frequentie, fase enz.
b. digitale signalen bestaan uit code-elementen, die in de regel door impulsen of potentialen worden voorgesteld.

Telcode

Code, waarbij de informatie door het aantal achter elkaar liggende verkregen impulsen wordt voorgesteld. Toepassingen: zaagtandcodeerinrichtingen, numerieke besturing van machines (incrementeel systeem), elektronische weeginrichtingen (incrementeel systeem). Speciaal geval: voorstelling van decimale cijfers d.m.v. de telcode van de kiesschijf van de telefoon.

Telexcode (CCI 2)

Codering volgens een 5-kanaal-overdrachtscode.
Codering op een 5-kanaal-ponsband m.b.v. binaire cijfers

0	OLLOL
1	LLLOL
2	LLOOL
3	LOOOO
4	OLOLO
5	OOOOL
6	LOLOL
7	LLLOO
8	OLLOO
9	OOOLL

Bovendien bestaat er de „cijferveiligheidscode", een controleerbare geinverteerde 8–4–2–1–0–code.

Teller

Inrichting voor het tellen (opsommen) van impulsen. Men onderscheidt vooruit- en teruguittellers, alsmede verschiltellers (zie blz. 29).

Tetrade

Groep van vier. In de regel vier binaire tekens voor de voorstelling van een decimaal cijfer.

Tijdmultiplex

Bij een tijdmultiplex-systeem voor de overdracht van verscheidene signalen via een enkel kanaal worden de signalen na elkaar doorgegeven, bijv. aftasten van meetplaatsen (zie blz. 132).

Transistor

Het woord is uit „transfer" en „resistor", hetgeen betekent „overdrachtsweerstand", samengesteld. Transistors bestaan uit germanium of silicium en hebben in elektronische schakelingen de functies, die tot dusver door elektronenbuizen werden vervuld.

Triggeren

Trekken; triggerimpuls = trekkerimpuls.

Verbinding

Functionele, niet-wiskundige (Boole-) verbindingen van twee of meer binaire signalen.

Vergelijkinrichting (comparator)

Een inrichting, waarin twee signalen (bijv. werkelijke en vereiste waarde bij een regelschakeling) met elkaar worden vergeleken.

Waarde

Waarde van een codeplaats bij waardeerbare codes, bijv. bij de duale code 8–4–2–1, bij de Aiken-code: 2–4–2–1.

Wegbesturing

Beweging van de slede van een machine tussen twee gedefinieerde punten, waarbij het gereedschap in werking is. Beweging in een as.

Wissen

De informatie-inhoud van een geheugen wissen. Daarbij worden alle L's door nullen vervangen. Betekent terugzetting.

Woord

Een bepaalde hoeveelheid binaire resp. decimale plaatsen (inclusief een voortekenplaats), die als eenheid worden opgeslagen, getransporteerd en verwerkt. Het heeft niet de betekenis van het algemene spraakgebruik; de informatie-inhoud is niet zonder meer te herkennen (codering).

Woordlengte

Het aantal binaire resp. decimale plaatsen van een woord.

Informatiegeheugens

Soort geheugen	Looptijd in s	Max. capaciteit in bit	Reactietijd
Kabel met speciale binnenader	$10^{-7}...10^{-5}$	15	
Looptijdketen	$10^{-7}...10^{-4}$	20	
Geluidsgolfgeheugen	$10^{-4}...10^{-2}$	10^3	
Relaisgeheugen		$\approx 10^3$	>5 ms
Flip-flop		$\approx 10^3$	0,1..1 μs
Magnetische band		10^8/band	2 ms...2 min
Magnetische schijven		$< 10^8$	$\approx$0,5 s
Trommelgeheugen		$< 10^7$	2...40 ms
Magnetische-kerngeheugen		$< 10^6$	$< 1\mu$s

Meetapparaat	Metingen in een seconde	Informatiestroom in bit/s
Draaispoelmeter	1	5
Digitale voltmeter (transistors)	$10^3 \ldots 10^4$	$10^4 \ldots 10^5$
Elektronenstraaloscillograaf 20 MHz	meer dan $2 \cdot 10^7$	10^8
Knoppenpaneel		15
Ponsbandponser		300
Kaartenponser		800
Pondsbandaftaster		1800
Leesapparaat		2000
Sneldrukker		2500
Ponskaartaftaster		3000
Magnetische-bandapparaat		$150 \cdot 10^3$
Magnetische schijven		10^6
Trommelgeheugen		10^6
Informatie-overdracht		$2 \cdot 10^6$

LITERATUUROVERZICHT

1. Informatiebladen en brochures van Philips Industrie Elektronik GmbH, Hamburg.
2. Ringkerne aus Ferroxcube 6 für Magnetspeicher, brochure van Valvo GmbH, Hamburg.
3. Informationsverarbeitung, Begriffe, DIN 44300, d.d. 29.2.64.
4. E. PFANNHOCH, *Einführung in die Grundbegriffe der „numerischen Steuerung"*, Stuttgart – Vaihingen, 1963.
5. Viersprachiges Fachwörterverzeichnis für die numerische Steuerung von Werkzeugmaschinen, VDI 3257, oct. 1962.
6. Digitale Messtechnik, VDI-Berichte Nr. 78, 1964.

DIGITALE MEETTECHNIEK

Populaire inleiding

Een inleiding in het interessante en actuele gebied van de digitale systemen.
Digitale systemen hebben een geheel nieuwe meettechniek doen ontstaan, bovendien vormen zij de basis voor de meeste automatiseringsprocessen, installaties voor het overbrengen van signalen over grote afstand enz.
In dit boek wordt de stof zodanig behandeld, dat ook de leek een goed overzicht krijgt, temeer daar het boek in een aanhangsel de begrippen en benamingen van de digitale systemen, die vooral voor de beginners belangrijk zijn, in alfabetische volgorde geeft.
Het is dus niet voor de vakman bedoeld, maar voor de vele elektrotechnici, meettechnici, constructeurs en studenten, die van de digitale systemen enigszins op de hoogte moeten zijn.

ISBN 90 201 054 18